



Angélica Judith Silva Ricaurte

**Estimação de matrizes origem destino (O-D) a partir da
contagem de tráfego para veículos de transporte de carga
na Região Metropolitana do Rio de Janeiro - RMRJ**

Dissertação de Mestrado

Dissertação apresentada como requisito parcial para
obtenção do grau de Mestre pelo Programa de Pós-
Graduação em Engenharia de Produção do
Departamento de Engenharia Industrial da PUC-Rio.

Orientador: Prof. José Eugenio Leal

Rio de Janeiro
Janeiro 2016



Angélica Judith Silva Ricaurte

**Estimação de matrizes origem destino (O-D) a partir da
contagem de tráfego para veículos de transporte de carga
na Região Metropolitana do Rio de Janeiro - RMRJ**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção do Departamento de Engenharia Industrial da PUC-Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

Prof. José Eugenio Leal
Orientador

Departamento de Engenharia Industrial - PUC-Rio

Prof. Orivalde Soares da Silva Júnior
Departamento de Engenharia Industrial - PUC-Rio

Prof. Nelio Domingues Pizzolato
Departamento de Engenharia Industrial - PUC-Rio

Prof. Marcio da Silveira Carvalho
Coordenador Setorial do Centro Técnico Científico - PUC-Rio

Rio de Janeiro, 18 de janeiro de 2016

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem autorização da universidade, do autor e do orientador.

Angélica Judith Silva Ricaurte

Graduou-se em Engenharia Industrial pela Universidade Cooperativa de Colômbia de Pasto, Colômbia, em 2013.

Ficha Catalográfica

Silva Ricaurte, Angélica Judith

Estimação de matrizes origem destino (O-D) a partir da contagem de tráfego para veículos de transporte de carga na Região Metropolitana do Rio de Janeiro – RMRJ / Angélica Judith Silva Ricaurte ; orientador: José Eugenio Leal. – 2016.

92 f. : il. (color.) ; 30 cm

Dissertação (mestrado)–Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Industrial, 2016.

Inclui bibliografia

1. Engenharia Industrial – Teses. 2. Previsão da demanda. 3. Matrizes OD. 4. Transporte de carga urbana. I. Leal, José Eugenio. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Industrial. III. Título.

CDD: 658.5

Para minha filha e minha mãe, minha família, obrigada
pelo amor, apoio e confiança.

Agradecimentos

Primeiramente, agradeço a Deus pela vida, pela grande oportunidade oferecida, por me proteger nos momentos difíceis, me dar força interior para superar os obstáculos, e me mostrar os caminho certo nos momentos que mais precisei.

Agradeço infinitamente a minha mãe, por todo seu amor, paciência, apoio e confiança porque sempre esteve presente desde o começo, para o amor da minha vida, minha filha que desde sempre têm dado alegria e amor e para o David pela sua ajuda.

Ao meu orientador Professor José Eugenio Leal pela colaboração, paciência, orientação e pelos seus conhecimentos repassados durante todo o desenvolvimento deste trabalho.

Aos professores e funcionários do Departamento de Engenharia Industrial da PUC-Rio pelos ensinamentos e pela ajuda.

À CAPES e à PUC-Rio, pelos auxílios concedidos, sem os quais está dissertação não poderia ter sido realizada.

Resumo

Ricaurte, Angelica Judith Silva; Leal, José Eugênio. **Estimação de matrizes origem destino (O-D) a partir da contagem de tráfego para veículos de transporte de carga na Região Metropolitana do Rio de Janeiro - RMRJ.** Rio de Janeiro, 2016. 92p. Dissertação de Mestrado – Departamento de Engenharia Industrial, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Com o crescimento das indústrias e a competitividade entre os mercados o transporte de cargas urbano tem-se considerado fundamental para a economia, mas a importância de sua relação direta com a vida das pessoas nas cidades tem ocasionado que exista maior congestionamento nas regiões centrais. É, por isso, que é importante ter o conhecimento sobre o deslocamento das cargas urbanas dentro da Região Metropolitana do Rio de Janeiro – RMRJ. Este trabalho trata de estimar matrizes origem destino (O-D) a partir de contagens de fluxos observadas na rede. Estas contagens foram realizadas para dois tipos de horários considerados importantes por motivo de restrições de circulação, sendo estes o pico da manhã (7:00 às 8:00) e pico da tarde (17:30 às 18:30). Após fazer uma revisão bibliográfica sobre o assunto, o trabalho define entre os métodos conhecidos o que foi considerado mais adequado para a estimativa da matriz OD. Decidiu-se pelo método desenvolvido por Nielsen (1998) denominado como Método de Caminho Único – SPME. O Método foi aplicado na rede viária do plano diretor de transportes urbanos da Região Metropolitana do Rio de Janeiro (PDTU-RMRJ), usando o *software* TransCAD.

Palavras-chave

Previsão da demanda; matrizes O-D; Transporte de carga urbana.

Abstract

Ricaurte, Angelica Judith Silva; Leal, José Eugênio (advisor). **Estimating freight vehicles O-D matrices from traffic counts in the Metropolitan Region of Rio de Janeiro.** Rio de Janeiro, 2016. 92p. MSc. Dissertation – Departamento de Engenharia Industrial, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

With the growth of industries and competitiveness between markets, the urban freight transport has been considered fundamental for the economy, but the importance of their direct relationship to the lives of people in cities has resulted in more congestion in the central regions. It is therefore important to have knowledge about the movement of urban freight inside the Metropolitan Area of Rio de Janeiro - MARJ. This work try to estimate origin destination matrices (O-D) from flows observed on the network. These counts were done for two types of times considered important for reasons of traffic restrictions, which are the peak of the morning (7:00 - 8:00) and late peak (17:30 - 18:30). After doing a literature review on the issue, the work defines between the known methods the one that was considered most appropriate for the estimation of O-D matrix. Decided for the method developed by Nielsen (1998) termed as Single Path Matrix Estimation – SPME. The method was applied to the road network of the master plan of the urban transport in the Metropolitan Area of Rio de Janeiro (PDTU-RMRJ), using software TransCAD.

Keywords

Demand Forecasting; O-D matrices; Freight Transportation.

Sumário

1.	Introdução	13
1.1.	Objetivos da dissertação	14
1.1.1.	Objetivo principal	14
1.1.2	Objetivos específicos	14
1.2.	Metodologia da dissertação	14
1.3.	Estrutura da dissertação	15
2.	Revisão de Literatura	16
2.1.	Métodos de alocação	17
2.2.	Abordagens dos modelos de estimação de matrizes O-D	20
2.2.1.	Abordagem proposto por Willumsen (1981), Ortúzar e Willumsen (2011), Tamin e Willumsen (1989)	20
2.2.2.	Abordagem proposto por Abrahamsson (1998)	22
2.3.	Modelos de estimação de matrizes O-D a partir da contagem de tráfego	25
2.3.1.	Modelo Gravitacional	22
2.3.1.1.	Calibração do modelo gravitacional	29
2.3.2.	Maximização da Entropia	29
2.3.3.	Método de caminho único - SPME e Método de caminhos múltiplos – MPME	32
2.3.3.1.	Método de caminho único – SPME	32
2.3.3.2.	Método de caminhos múltiplos – MPME	33
2.3.4.	Independência e inconsistência da estimação da matriz e a contagem de tráfego	34
2.3.4.1.	Independência	34
2.3.4.2.	Inconsistência	35
2.4.	Indicador de validação de aceitabilidade GEH	35

3.	O transporte de cargas na Região Metropolitana do Rio de Janeiro – RMRJ	38
3.1.	Contextualização	38
3.2.	Análise de transporte de carga na rede viária	40
3.3.	Circulação do transporte de veículos de carga na RMRJ	44
3.3.1	Fluxo rodoviário de carga externo – externo e externo – interno	45
3.3.2.	Fluxo rodoviário de carga interno – interno	46
4.	Estimação de matrizes O-D a partir da contagem de tráfego com uso do <i>software</i> TransCAD	52
4.1.	Desenvolvimento do método solução	52
4.2.	Desenvolvimento do método solução com o uso do <i>software</i> TransCAD	55
4.2.1.	Metodologia de estimação da matriz O-D a partir da contagem de tráfego no TransCAD 4.5	56
5.	Estudo de caso	60
5.1.	Abrangência geográfica	60
5.2.	Dados da pesquisa	62
5.2.1	Rede de transporte de cargas da RMRJ	62
5.2.2	Contagens de tráfego	64
5.2.2.1	Período de contagem	66
5.2.3	Matrizes Origem Destino (O-D) sementes	68
5.3.	Metodologia do trabalho	68
5.4.	Resultado e análises	69
6.	Conclusões	80
7.	Referências Bibliográficas	82
8.	Anexos	85

Lista de tabelas

Tabela 1 –	Análises comparativa contrastando o GEH e percentuais.	37
Tabela 2 –	Carga anual e caminhões diários por tipo de movimentação para 2011.	46
Tabela 3 –	Matriz O-D semente por município no período do pico da manhã.	51
Tabela 4 –	Passo a passo do exemplo usando SPME.	54
Tabela 5 –	Codificações de municípios por zona.	61
Tabela 6 –	Pesquisas de Origem e Destino.	62
Tabela 7 –	<i>Links</i> e nós da rede de transporte de carga.	63
Tabela 8 –	Tipos de veículos.	64
Tabela 9 –	Hierarquia dos veículos.	64
Tabela 10 –	Vias que formam o cerco de restrição para transito de caminhões.	66
Tabela 11 –	Resultados dos <i>screenlines</i> para o pico da manhã.	70
Tabela 12 –	Frequências do GEH para os <i>screenlines</i> pico da manhã.	72
Tabela 13 –	Matriz O-D de transporte de carga por município para o período do pico da manhã.	74
Tabela 14 –	Resultados dos <i>screenlines</i> para o pico da tarde.	75
Tabela 15 –	Frequências do GEH para os <i>screenlines</i> pico da tarde.	76
Tabela 16 –	Matriz O-D de transporte de carga por município para o período do pico da tarde.	79

Lista de figuras

Figura 1 –	Métodos de alocação de tráfego para estimação de matriz O-D	19
Figura 2 –	Combinação dos modelos de alocação de equilíbrio e estimação de matrizes de vagem	21
Figura 3 –	Métodos solução para estimação de matrizes O-D a partir da contagem de tráfego	27
Figura 4 –	Contagem dependente	35
Figura 5 –	Municípios da RMRJ contemplados no PDTU	40
Figura 6 –	Atores que intervêm na movimentação rodoviária de carga	41
Figura 7 –	Desafios da distribuição de transporte de cargas	42
Figura 8 –	Tipos de veículos de carga	42
Figura 9 –	Variação da capacidade viária em função do percentual de veículos de carga	44
Figura 10 –	Fluxos rodoviários de transporte de carga da RMRJ	45
Figura 11 –	Postos de pesquisa e praças de pedágio da RMRJ	46
Figura 12 –	Principais polos logísticos da RMRJ	47
Figura 13 –	Atacadistas da RMRJ	48
Figura 14 –	Varejistas da RMRJ, exemplo supermercados	49
Figura 15 –	Interações entre os atores do PDTU parte cargas	49
Figura 16 –	Exemplo contagem de tráfego	53
Figura 17 –	Solução do exemplo	55
Figura 18 –	Rede com todos os <i>links</i> e nós	57
Figura 19 –	Matriz semente e contagem de tráfego	57
Figura 20 –	Rede de transporte	58
Figura 21 –	Volume dos fluxos	58
Figura 22 –	Matriz estimada e o volume/capacidade da rede de transporte	59
Figura 23 –	Municípios e zonas da RMRJ	61

Figura 24 –	Detalhe da rede de transporte de cargas para a RMRJ	63
Figura 25 –	<i>Screenlines</i> da RMRJ	65
Figura 26 –	Locais de contagem da RMRJ	65
Figura 27 –	Restrições de circulação	67
Figura 28 –	Fluxo observado x Fluxo modelado para o período do pico da manhã	71
Figura 29 –	GEH dos <i>screenlines</i> para o período do pico da manhã	72
Figura 30 –	Fluxo de transporte de carga para a RMRJ no período do pico da manhã	73
Figura 31 –	Fluxo observado x Fluxo modelado para o período do pico da tarde	76
Figura 32 –	GEH dos <i>screenlines</i> para o período do pico da tarde	77
Figura 33 –	Fluxo de transporte de carga para a RMRJ no período do pico da tarde	78

1.

Introdução

O planejamento de transportes envolve o conhecimento sobre as rotinas de viagens que impactam na utilização de sistemas de transportes. Isso exige um entendimento do comportamento de viagem para uso na previsão da demanda.

Na logística urbana isso é duplamente importante, por considerar os deslocamentos das cargas urbanas e pela influência do tráfego de carga no tráfego urbano geral.

O trabalho aborda a estimação de matrizes O-D a partir das contagens de tráfego. Estas matrizes são consideradas essenciais para o planejamento dos sistemas de transporte nas cidades grandes, médias e pequenas, permitindo compreender a demanda dentro ambiente urbano para assim gerar estratégias para atender aos três atores que fazem parte da logística urbana: população, operador logístico e poder público.

No estudo de caso para o desenvolvimento da estimação das matrizes origem destino (O-D) a partir da contagem de tráfego na Região Metropolitana do Rio de Janeiro – Brasil propõe-se um método de estimação das matrizes O-D como os desenvolvidos por Willumsen, (1978) e Abrahamsson (1998). O processo de estimação parte do princípio de que existam contagens de fluxos observados nas vias para um determinado período de tempo de interesse, permitindo assim a melhor identificação da matriz O-D.

Para o caso do Estado do Rio de Janeiro, é importante ressaltar que, devido ao Produto Interno Bruto (PIB) produzido por cada um dos municípios, constitui-se a RMRJ conformado por 20 municípios com o maior PIB do Estado, sendo a capital Rio de Janeiro com a maior produção e atração de viagens. A partir desta constituição econômica é definida a movimentação de carga e pela qual é dividida em três tipos de fluxos que são: externo, externo-interno e interno. A pesquisa exclusivamente centra-se no cordão interno e pretende estimar as matrizes O-D para dois períodos de tempo conforme as contagens de tráfego.

1.1.

Objetivos da dissertação

1.1.1

Objetivo principal

A presente dissertação tem a finalidade de estimar matrizes origem destino (O-D) com base na contagem de tráfego do transporte veicular de cargas, obtidas a partir de dados do Plano Diretor de Transportes Urbanos da RMRJ (PDTU-RMRJ).

1.1.2.

Objetivos específicos

- Apresentar uma revisão da literatura sobre os diferentes métodos de alocação, dos métodos e modelos da estimação de matrizes O-D e o problema de estimação escolhido.
- Definir o estudo de caso e método pela qual será desenvolvida a estimação matrizes O-D com a contagem de tráfego.
- Fazer o levantamento dos dados iniciais, as contagens de tráfego e a rede de transporte existente no PDTU-RMRJ e as matrizes sementes fornecidas no trabalho de Fernandez (2014).
- Resolver o problema de estimação das matrizes O-D com as de contagens de tráfego para os veículos de carga da RMRJ, nos períodos de tempo do pico da manhã e do pico da tarde, com o uso do *software* TransCAD.
- Apresentar os resultados obtidos e as conclusões da pesquisa.

1.2.

Metodologia da dissertação

A pesquisa é metodológica porque como o uso do *software* TransCAD e com as informações do PDTU-RMRJ e o trabalho de Fernandez (2014), foi possível a estimação de matrizes O-D com a contagem de tráfego na Região Metropolitana do Rio de Janeiro. É também definida como aplicada, devido que o problema é prático e real pela aplicação nos períodos de tempo (pico da manhã e pico da tarde).

O meio de investigação da pesquisa é classificada como estudo de caso, porque aprofunda especificamente na estimação de matrizes O-D para a Região Metropolitana do Rio de Janeiro.

Sua natureza é quantitativa, porque a pesquisa envolve dados numéricos e análise dos mesmos.

1.3.

Estrutura da dissertação

O trabalho está estruturado como se segue. Após a introdução no Capítulo 1, o Capítulo 2, faz uma revisão da literatura da estimação de matrizes O-D. O Capítulo 3, descreve especificamente o transporte de carga na região metropolitana do Rio de Janeiro RMRJ. No Capítulo 4, apresenta-se o método solução do problema usando o *software* TransCAD. No Capítulo 5, mostra-se o estudo de caso em detalhe, com a análise dos resultado. No Capítulo 6, são apresentadas as conclusões do trabalho e no Capítulo 7,

2.

Revisão de Literatura

A matriz O-D é importante para descrever o transporte em uma região, pois contém estimativas do número de viagens e do transporte feito entre diferentes pontos ou zonas da região. A partir do trabalho pioneiro de Robillard (1975) tem sido desenvolvidos, nas últimas quatro décadas, os métodos de estimação de matrizes O-D a partir da contagem de tráfego (Willumsen, 1978; Abrahamsson, 1998; Van Aerde et al., 2003). Estes modelos buscam complementar ou substituir a estimação realizada pelos métodos tradicionais, os quais tendem a tornar-se custosos, além do trabalho intenso exigido no levantamento e processamento de dados (Ortúzar e Willumsen, 2011).

De acordo com Abrahamsson (1998) e Ortúzar e Willumsen (2011), a contagem de tráfego é o requisito para obter uma estimação “razoável” da combinação da matriz de viagem e das rotas escolhidas, e tem-se desenvolvido e testados vários enfoques, como os apresentados por Nguyen (1977), Willumsen (1981), Fisk (1988), Fisk (1989), Yang *et al.* (1992), Yang (1995), Sherali *et al.* (2003) e Xie *et al.* (2010). A obtenção de dados para a contagem é um processo simples e econômico, além de estar disponível em muitas cidades médias e grandes em diversos pontos da rede, através de filmagens, sensores portáteis ou fixos ou simplesmente por processos manuais de contagem.

Apesar da importância da estimação das matrizes O-D a partir da contagem de tráfego, é importante considerar o desafio deste tipo de problemas devido a que o número de arcos para os quais a contagem de tráfego encontra-se disponível, é tipicamente menor do que o número de elementos a serem estimados numa matriz O-D. Isto leva a identificar mais de uma matriz O-D a partir de um único conjunto de contagem de arcos, conforme argumenta Hazelton (2003). No caso em que o número de arcos observados é maior do que o número de parâmetros desconhecidos tem-se que relacionar o volume do arco com o custo ou tempo da viagem no arco (Hazelton, 2003 e Abrahamsson, 1998).

2.1.

Métodos de alocação

Autores como Willumsen, (1981) e Willumsen et al., (1989) ressaltam que os modelos de estimação de matriz O-D podem ser abordados segundo o trabalho de Robillard (1975), que classifica em dois grupos os métodos de alocação:

- Alocação proporcional: a alocação é feita para que cada rota seja escolhida independentemente do nível de fluxo; i.e., que seja livre dos efeitos de congestionamento devido a que ao fluxo pré-existente nos arcos da rota escolhida na alocação não é considerado. A vantagem deste método é que permite a separação da rota escolhida da matriz de estimação O-D, porque as proporções de viagens em cada arco são assumidas como independentes da matriz de viagem a ser estimada.

O exemplo mais comum é o método tudo ou nada, que ao considerar ausência de congestionamento, implica que os custos nos arcos da rota de caminho mínimo sejam fixos. A proporção é definida como p_{ij}^a , onde:

$$p_{ij}^a = \begin{cases} 1 & \text{Se a viagem desde a origem } i \\ & \text{para o destino } j \text{ usa o arco } a. \\ 0 & \text{Caso contrário} \end{cases}$$

No grupo de alocação proporcional também encontram-se os métodos de alocação estocásticos. Nestes, a diferença do tudo ou nada consideram mais de uma rota entre cada par O-D. Devido a sua complexidade precisa-se de métodos que incorporem este aspecto, entre os quais está a Simulação de Monte Carlo (Burrell, 1986) que introduz a variabilidade nos custos dos arcos percebidos. Por último, estão os métodos baseados em proporcionalidade, que alocam os fluxos em rotas alternativas a partir de proporções calculadas com o uso de expressões do tipo *logit*, como a alocação STOCH desenvolvida por Dial (1971). Portanto, nestes dois métodos, p_{ij}^a também toma valores intermediários entre 0 e 1.

- Alocação não proporcional: considera as condições de congestionamento e, portanto, a proporção das viagens utilizadas em cada arco depende dos arcos que pertencem a cada rota entre um par O-D. Ou seja, o método faz uma estimação iterativa tanto da rota escolhida como das matrizes de viagens, sendo assim as duas

consistentes (Ortúzar e Willumsen, 2011). O método é considerado o mais realista para alocação de tráfego.

Neste grupo encontram-se os métodos de alocação de equilíbrio, entre eles o modelo de equilíbrio do usuário (UE), que procura uma solução que satisfaz o primeiro princípio de Wardrop: minimizar o tempo individual das viagens dos usuários na rede. No UE todas as viagens escolhem a rota que minimiza o tempo ou o custo de viagem, de tal forma que nenhuma possa unilateralmente reduzir seu tempo para trocar de caminho. Isto deve-se ao princípio de equilíbrio onde todos usam caminhos para cada par O-D que apresentam o mesmo custo mínimo. A solução é feita através de um processo iterativo para encontrar uma solução que converge. Para isso, em cada iteração incorpora-se uma restrição de capacidade e tempos de viagens dependentes do fluxos.

Outros dos métodos dentro do grupo é o modelo de usuário de equilíbrio estocástico (SUE), sendo este uma generalização do modelo de usuário de equilíbrio. Baseia-se na premissa de que cada usuário escolhe a rota com o mínimo custo de viagem "percebido"; i.e., que nenhum usuário faz uso de uma rota com custos mais baixos do que o "percebido" e, portanto, todos ficam com suas rotas atuais. O SUE produz resultados mais realistas do que EU, porque permite que em cada rota se defina individualmente os custos de viagem no lugar de usar um único custo para todas as rotas. Porém este método precisa de um grande número de iterações para ser usado, dificultando seu uso na prática.

Os autores como Nguyen (1977), Fisk (1988, 1989), Yang *et al.*, (1992), Sherali *et al.* (1994, 2003) consideram que a alocação não proporcional é uma boa aproximação para modelagem de tráfego urbano em redes viárias congestionadas. E Abrahamsson (1998), enfatiza o conceito de equilíbrio estocástico, porque tem em conta as diferentes percepções do custo de viagem que os viajantes têm devido às variações individuais.

A Figura 1, mostra os modelos de alocação de tráfego para estimação de matrizes O-D anteriormente mencionados.

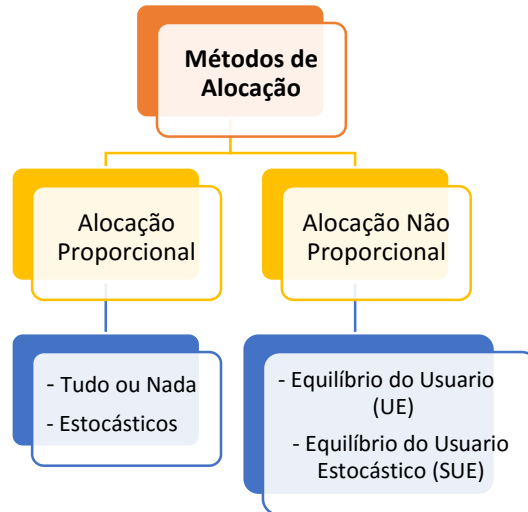


Figura 1 – Métodos de alocação de tráfego para estimação de matrizes O-D.

De acordo com Ortúzar e Willumsen (2011) a etapa mais importante para estimação de um modelo de demanda de transporte a partir da contagem de tráfego é a identificação dos caminhos percorridos pelas viagens desde cada origem para cada destino, ou seja, a complexidade computacional da estimação da matriz OD depende amplamente do uso da técnica de atribuição, ou alocação (Cascetta e Nguyen, 1988). Desse modo, é importante ressaltar novamente a variável p_{ij}^a , que é usada para definir a proporção das viagens desde a zona i para a zona j viajando através do arco a . Além do mais, o fluxo (V_a) do arco a é a soma de todas as viagens entre as zonas que passam pelo arco. Matematicamente pode ser expressa como:

$$V_a = \sum_{ij} T_{ij} p_{ij}^a, \quad 0 \leq p_{ij}^a \leq 1 \quad (1)$$

Onde T_{ij} é o número de viagens desde a zona i para a zona j . Dadas todas as p_{ij}^a e todas as contagens de tráfego observadas (\hat{V}_a) haverá N^2 valores desconhecidos T_{ij} para ser estimados a partir de um conjunto de L equações lineares simultâneas (1), onde L é o número total da contagem de tráfego e N^2 é considerada porque a área de estudo está dividida em N zonas interconectadas com uma série de arcos e nodos.

2.2.

Abordagens dos modelos de estimação de matrizes O-D

Com ênfase na literatura, autores como Willumsen (1981), Ortúzar e Willumsen (2011), Tamin e Willumsen (1989), Abrahamsson (1998) propõem distintas opções de desenvolvimento para os problemas de tráfego.

2.2.1.

Abordagem proposto por Willumsen (1981), Ortúzar e Willumsen (2011), Tamin e Willumsen (1989)

Os autores sugerem três alternativas de modelos solução:

- Modelos gravitacionais: foi um dos primeiros métodos apresentados para a estimação de matrizes O-D. Estima as viagens utilizando como padrão as viagens observadas e é o modelo mais provável para ser validado em grandes áreas, onde o custo ou comprimento da viagem é um fator importante na definição dos padrões de demanda de viagens.

- Alocação de equilíbrio, o modelo satisfaz o primeiro princípio de *Wardrop*, por isso, também denominado como equilíbrio de *Wardrop*, e procura que os fluxos gerados na alocação e as contagens de tráfego observadas na rota satisfaçam aquele princípio.

- Maximização da entropia, minimiza a diferença existente entre a matriz O-D estimada e a matriz O-D semente, acrescentando o mínimo de informação possível à matriz estimada no processo, para assim atender as restrições referentes às contagens de tráfego presentes nos arcos.

A Figura 2, mostra o diagrama de fluxo da combinação do modelo de alocação de equilíbrio e o modelo de estimação da matriz O-D.

Os autores consideram que os modelos gravitacionais são capazes de explicar a maioria dos comportamentos das viagens. Robillard (1975) e Wills (1977) assumem a forma generalizada do modelo gravitacional para resolver a minimização das diferenças entre os fluxos observados e sintéticos, ou estimados.

Entre exemplos deste tipo, o modelo proposto por Willumsen (1978, 1981) está livre de congestionamento porque a proporção das viagens num arco específico é constante (Xie et al., 2010).

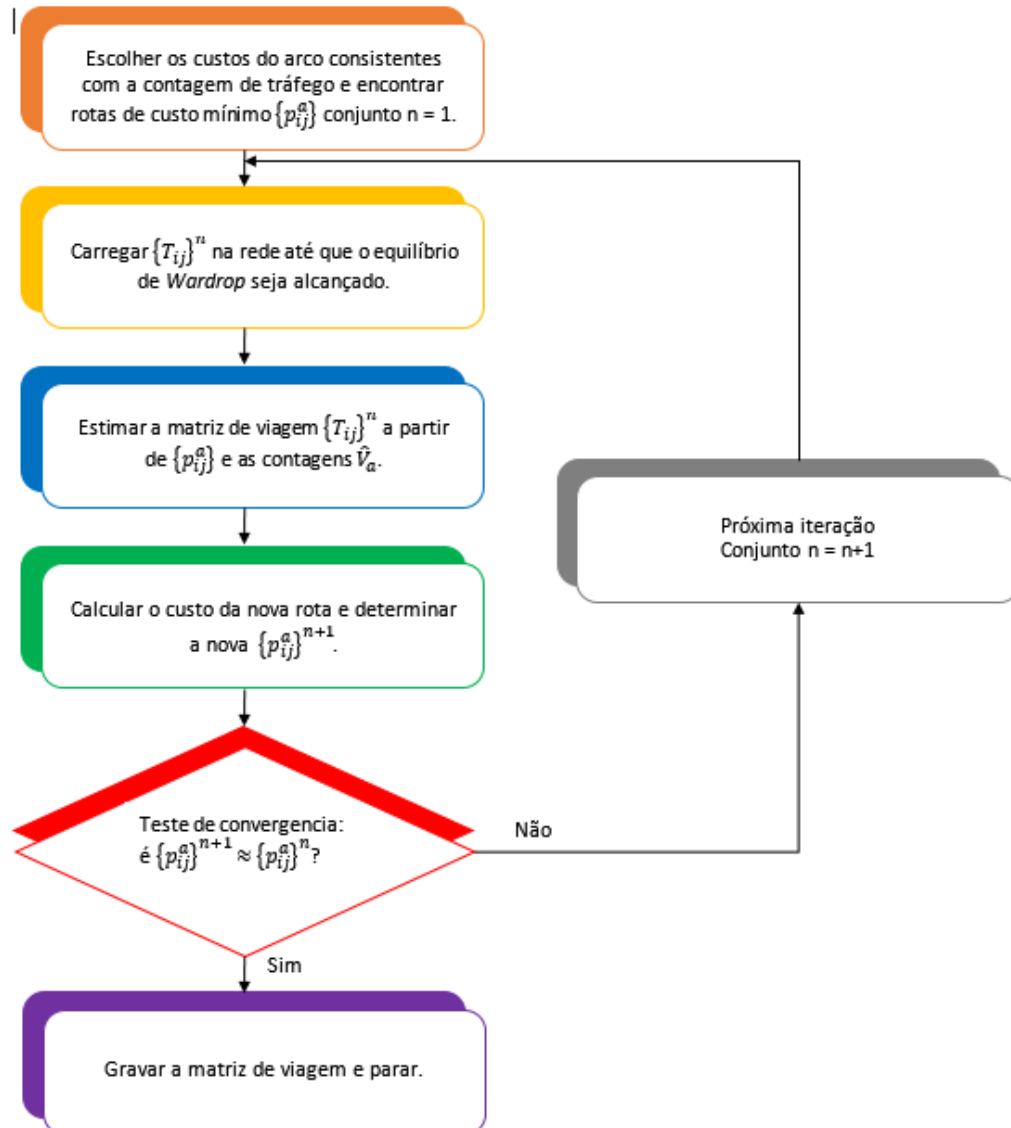


Figura 2 – Combinação dos modelos alocação de equilíbrio e estimação de matriz de viagem

Fonte: Willumsen (1981)

Os estudos propostos por Nguyen (1977) e Willumsen (1984) tratam o conceito de equilíbrio do usuário como solução ao problema de estimação de matrizes O-D, mas Fisk (1988) estende o modelo desenvolvido por Zuylen e Willumsen (1980) especificamente para o caso de redes com restrição de capacidade e, consegue combinar o modelo da maximização de entropia e de

alocação de equilíbrio com as rotas e demandas em cada par O-D, tendo como solução um processo iterativo bi-nível com valores consistentes para ambos. Em um processo bi-nível o objetivo é de encontrar a matriz mais apropriada para a reprodução dos fluxos, onde em um nível a matriz O-D inicial é estimada e no outro o uso das rotas é definido em função de outra matriz O-D estimada.

Nguyen (1977) estende algumas ideias de Robillard para a alocação de equilíbrio, com um modelo mais relevante para áreas urbanas. O autor assume o conhecimento prévio dos custos de viagens observados entre cada para O-D. Como solução utiliza uma matriz O-D inicial e realiza correções iterativamente até que a solução seja satisfatória.

Segundo Wilson (1970), os modelos de gravitacionais podem ser considerados a partir do enfoque que apresenta a maximização da entropia. Além disso, Willumsen (1981) apresenta um modelo para estimar uma matriz O-D a partir de contagens de tráfego com condições de alocação proporcional a partir de uma abordagem da mesma maximização de entropia. A derivação é similar à derivação de um modelo de gravitacional, mas substituindo as restrições de viagem e custo por restrições associadas às contagens de tráfego.

2.2.2.

Abordagem proposto por Abrahamsson (1998)

Abrahamsson (1998) fez um levantamento de abordagens de métodos de estimação de matrizes O-D, os quais são agrupados em três enfoques.

- Modelagem de tráfego: considera a maximização da entropia e combina modelos de planejamento de tráfego. A estimação da matriz O-D é obtida por solução direta ou por estimação de parâmetros de modelos combinados. A matriz O-D é encontrada quando a alocação da rede reproduz a contagem de tráfego observada de forma consistente. Além disso, este enfoque assume direta ou indiretamente que o comportamento das viagens é representado por um modelo de distribuição. Um exemplo são os modelos de Van Zuylen e Willumsen (1980), que baseiam-se nos princípios da maximização da entropia nos modelos de distribuição de viagem do tipo gravitacional e também trabalhos como os de Tamin e Willumsen (1989) e Sherali et al., (1994).

Um dos primeiros a apresentar as formulações de equilíbrio baseado no problema de estimação de matriz O-D foi Nguyen (1979), que analisou por completo as propriedades das soluções obtidas ao se ter uma rede congestionada. A solução reproduz a contagem de tráfego observado, embora, existem diferentes matrizes O-D que correspondem a essa mesma estimação de fluxos nos arcos.

A combinação de modelos inclui modelos como distribuição de viagem e alocação. Estes modelos têm definido o número de viagens originadas e destinadas para cada par O-D e só na fase de estimação da matriz O-D, a contagem de tráfego pode ser usada para determinar o valor de um parâmetro. Este é considerado um dos modelos de dupla restrição, onde os multiplicadores de *Lagrange* visam minimizar os custos de viagem (Abrahamsson, 1998).

Tamin e Willumsen (1989) consideram modelos do tipo dupla restrição, sendo o modelo gravitacional um deles, mas também encontram-se o modelo *intervening opportunity* e o *gravity-opportunity*. Fizeram aplicações testando pequenos problemas livres de congestionamento, usando o modelo gravitacional.

- Inferência estatística, inclui os métodos de máxima verossimilhança (ML), mínimos quadrados generalizados (GLS) e inferência bayesiana. A estimação da matriz O-D é obtida pela estimação de parâmetros das distribuições de probabilidade e a matriz O-D semente por estudo amostral.

O modelo da máxima verossimilhança (ML), maximiza a possibilidade de observação da matriz O-D semente e da contagem de tráfego condicionadas à estimação da matriz O-D. Isto deve-se a que as informações da matriz semente são obtidas como observações de um conjunto de variáveis aleatórias, enquanto a contagem de tráfego observada estabelece outra fonte de informação acerca da matriz O-D a ser estimada. Tanto a contagem de tráfego observada e a matriz O-D semente são consideradas estatisticamente independentes. Devido a esta premissa, a probabilidade observada dos conjunto é dada pelo produto das probabilidades (Abrahamsson, 1998).

Spiess (1987) assume que os fluxos dos arcos têm uma distribuição de Poisson e que as observações disponíveis são uma amostra da distribuição; por essa

razão, a ML gera um modelo para melhorar e ter estimações consistentes dos fluxos. Além disso, Spiess considera uma formulação específica, onde para cada par O-D, a matriz semente é obtida por observação de um processo de Poisson independente, sendo necessário tomar uma amostra de uma matriz de viagem existente com uma frequência de amostragem de $\alpha_{ij} < 1$, onde α_{ij} representa a fração da população que foi observada.

No método dos mínimos quadrados generalizados (GLS), a matriz O-D semente obtém-se a partir da estimação da matriz O-D e de um erro probabilístico. Da mesma forma acontece com a contagem de viagem observada, que deve-se obter a partir de uma equação estocástica. Cascetta (1984) afirma que as estimativas ou mesmo as aproximações da matriz produzem melhores resultados que o enfoque da maximização da entropia. Além do mais, observa que este tipo de modelo é mais sensível às variações e imprecisões na contagem de tráfego e a matriz O-D semente com os valores dos parâmetros. Os parâmetros usados na formulação do GLS incluem matrizes de dispersão para a matriz semente e para a contagem de tráfego. Assim, se a matriz O-D apresenta um erro na variância - covariância nas matrizes de dispersão é preciso o uso do GLS.

Bell (1991) apresenta um algoritmo que considera a restrição de não negatividade sobre a estimação da matriz O-D e ao igual que Cascetta (1994) assume a alocação proporcional. Yang *et al.* (1992) estende o GLS por integração da alocação de equilíbrio da matriz O-D. A estimação da matriz O-D é formulada como um processo bi-nível, sendo assim difícil de resolver.

A inferência estatística ou inferência Bayesiana, considera que os parâmetros devem ser aleatórios e tenta comparar, da melhor forma possível, a informação inicial através do teorema de Bayes. Neste modelo a matriz O-D semente é considerada como uma função de probabilidade a priori da estimação da matriz O-D. Assim, se a contagem de tráfego observada é considerada como outra fonte de informação acerca da matriz O-D com uma probabilidade, então o teorema de Bayes fornece um método para a combinação de duas fontes de informação.

Maher (1983) mantém o modelo de atribuição proporcional e assumiu para a contagem de tráfego observada a premissa da Normal Multivariada (MVN) e mostra que a matriz O-D estimada também se torna uma distribuição MVN. Este

enfoque tem propriedades comuns com os enfoques da ML e o GLS, mas Cascetta e Nguyen (1988) afirmam que estes enfoques se diferenciam.

• Gradiente, é uma técnica baseada na alocação de equilíbrio que produz soluções eficientes que podem ser aplicadas a problemas de grande escala, e resolve problemas de otimização a partir da modelagem de tráfego e da inferência estatística. É uma abordagem nas redes congestionadas ou de alocação de equilíbrio, onde Abrahamsson (1998) as denomina como técnicas baseadas em gradiente. Neste tipo de técnica, a matriz OD semente é tomada como a solução inicial do problema de estimação da matriz O-D. A matriz O-D semente é ajustada ou alterada para reproduzir a contagem de tráfego por iteração dos cálculos com base em direções do gradiente da função objetivo. O problema de estimação da matriz O-D determina a matriz O-D sobre o nível superior e a atribuição de equilíbrio no nível inferior, sendo um processo iterativo bi-nível.

Spiess (1990) apresenta aplicações do problema em grande escala, onde inclui exemplos urbanos em Suíça e inter-regional na Finlândia. O método de Spiess é uma aproximação da alocação proporcional e não necessariamente converge para uma solução do problema. Com isso, a função objetivo do gradiente torna-se fácil de calcular, sendo atingível a partir da solução de dois problemas de atribuição de equilíbrio. Os resultados obtidos são razoáveis com uma melhoria significativa da qualidade de ajuste.

Outra pesquisa destacada sobre o tema está em Chen (1994), que sugere dois métodos, o Langrangeano aumentado e o “*type Gauss-Seidel*”; no qual o primeiro mostra resultados satisfatórios sobre uma pequena rede e o segundo método mostra uma qualidade maior se a matriz O-D semente é incluída na função objetivo.

2.3.

Modelos de estimação de matrizes O-D a partir da contagem de tráfego

Na seção anterior citam-se vários modelos encontrados na literatura que usam a contagem de tráfego na estimação de matrizes O-D, mas nesta seção discorre-se especificamente sobre os principais modelos matemáticos.

No processo de estimação de matrizes O-D a partir da contagem de tráfego pode-se considerar o resultado da relação entre a uma matriz de viagem e as rotas

escolhidas. Além disso, o processo é de relativamente fácil implementação porque, em geral o levantamento de dados não faz interrupções nas viagens dos viajantes/motoristas, geralmente encontram-se disponíveis e são relativamente mais baratos para ser coletados.

A estimação de matrizes O-D a partir da contagem de tráfego fornece informação direta sobre a soma total dos pares O-D que usam arcos de contagem, mas determinar uma única solução para o problema é impossível porque na prática o número de contagens observadas é muito menor que o número de viagens a serem estimados na matriz O-D. Logo, haverá mais de uma matriz viagem, a qual, quando carregada na rede reproduzirá a contagem de tráfego “satisfatoriamente” (Ortúzar e Willumsen, 2011).

Nielsen (1998) criou dois métodos para a estimação de matrizes O-D a partir da contagem de tráfego. O método do caminho mínimo (SPME) e o de múltiplos caminhos (MPME), ambos métodos podem manejar a inconsistência e incerteza na contagem e podem se basear sobre qualquer modelo de alocação. Se ocorre inconsistência na contagem, isto não afetará os resultados tão seriamente, como em outros métodos de estimação.

A Figura 3, representa a estrutura de três métodos que têm resolvido este problema.

Os métodos estruturados restringem o espaço factível para a estimação da matriz O-D pela imposição de uma estrutura particular, que é usualmente fornecida pela existência de um modelo de demanda de viagem. O enfoque dos métodos não estruturados fornece o mínimo de informação requerida para estimar a matriz. Os métodos heurísticos, sua vez, permitem manejar inconsistências e incertezas na contagem de tráfego.

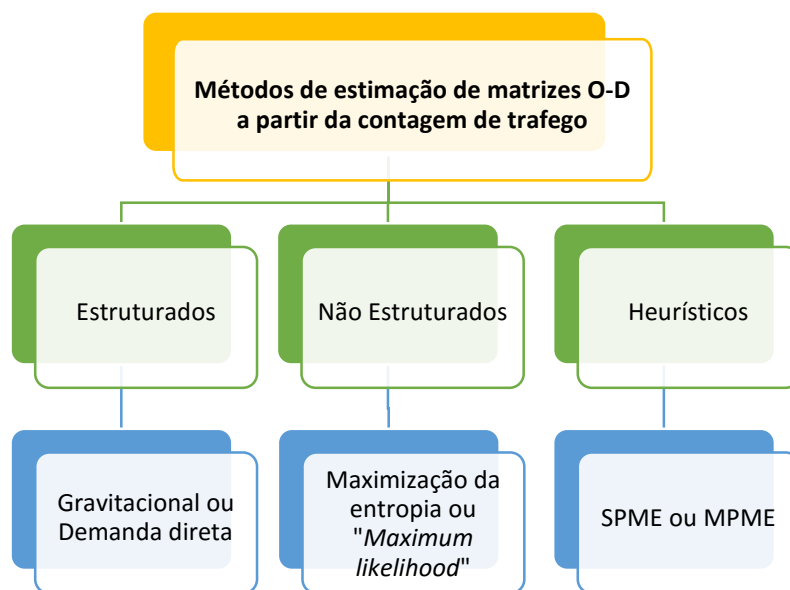


Figura 3 – Métodos solução para estimação de matrizes O-D a partir da contagem de tráfego

2.3.1

Modelo Gravitacional

Este modelo é denominado assim pela sua analogia com as leis gravitacionais de Newton e é um dos primeiros a serem apresentados para a estimação de matrizes de viagem a partir da contagem de tráfego.

$$T_{ij} = \frac{\alpha O_i D_j}{d_{ij}^2} \quad (2)$$

O modelo propõe que o número de viagens a partir da zona i para a zona j é diretamente proporcional ao número de viagens originadas desde i e sendo atraídas para j e é inversamente proporcional ao quadrado da distância entre eles. Se na equação 2, um valor de O_i específico e de um D_j determinado são duplicados, o número de viagens entre essas zonas será quadruplicado, quando seria de esperar que fosse apenas o dobro. Por conseguinte, o modelo é restringido de modo que:

$$\begin{aligned} O_i &= \sum_j T_{ij} \\ D_j &= \sum_i T_{ij} \end{aligned} \quad (3)$$

As restrições satisfazem o modelo ao considerar um conjunto de variáveis A_i e B_j , Fatores de Balanço, associadas com a produção e atração total das viagens.

Posteriormente, o modelo foi generalizado, melhorando a premissa de que o efeito da distância ou do custo de viagem entre as zonas i e j , poderia ser melhor modelado por uma função decrescente, assim:

$$T_{ij} = \alpha O_i D_j f(c_{ij}) \quad (4)$$

Onde, $f(c_{ij})$ é a função generalizada dos custos de viagens com um ou mais parâmetros de calibração e α um fator de proporcionalidade. Além do mais, esta função frequentemente recebe o nome de “função de impedância” porque representa o desincentivo a viajar na forma de distância (tempo) ou aumento do custo. Um exemplo é a função exponencial $\exp(-\beta c_{ij})$.

Após inserir as restrições requeridas para substituir o Fator de Proporcionalidade α pelos Fatores de Balanço como no modelo de Furness, o modelo obtido é o seguinte:

$$T_{ij} = A_i O_i B_j D_j f(c_{ij}) \quad (5)$$

Onde,

$$A_i = \frac{1}{\sum_j D_j f(c_{ij})} \quad (5a)$$

e

$$B_j = \frac{1}{\sum_i O_i f(c_{ij})} \quad (5b)$$

Contudo A_i e B_j são interdependentes, i.e., que o cálculo de um conjunto precisa os valores do outro conjunto, sendo desta forma um processo iterativo

análogo ao método de Furness. Nele dado um conjunto de valores para a função de impedância $f(c_{ij})$, começa-se com todos os $B_j=1$, calcula-se A_i e usa-se esses valores para re-estimar os B_j , e repetindo até que a convergência seja alcançada.

2.3.1.1

Calibração do modelo gravitacional

Como foi visto anteriormente, os Fatores de Balanço A_i e B_j são estimados como parte das operações método de Furness e o parâmetro β deve ser calibrado de maneira independente para assegurar que a distribuição do tempo de viagem (TLD, no inglês *trip length distribution*) seja reproduzida, tanto quanto seja possível. Para isto deve-se comparar a distribuição do tempo de viagem modelada (MTLD, no inglês *Modelled trip length distribution*) com a distribuição do tempo de viagem observada (OTLD, no inglês *Observed trip length distribution*). Isto deve acontecer até que o ajuste entre MTLD e OTLD seja satisfatório e o valor resultante será tomado como o melhor valor β .

Um dos métodos mais robustos e eficientes para a calibração é descrito por Hyman (1969).

$$c(\beta) = \sum_{ij} \frac{[T_{ij}(\beta)c_{ij}]}{T(\beta)} = c^* = \frac{\sum_{ij} N_{ij}C_{ij}}{\sum_{ij} N_{ij}} \quad (6)$$

Onde, c^* é a custo médio de OTLD e N_{ij} é o número de viagens observadas de cada par O-D.

2.3.2.

Maximização da Entropia

Wilson (1970) introduz o conceito de entropia na modelagem. Este enfoque produz uma análise da informação disponível para obter uma única probabilidade de distribuição.

A ideia foi usada por Willumsen (1978) para derivar um modelo de estimação de matrizes O-D a partir da contagem de tráfego:

$$\text{maximize } S(T_{ij}) = - \sum_{ij} (T_{ij} \log T_{ij} - T_{ij}) \quad (7)$$

sujeito a

$$\hat{V}_a - \sum_{ij} T_{ij} p_{ij}^a = 0 \quad (8)$$

para cada contagem do arco a , e:

$$T_{ij} \geq 0$$

Para alcançar a solução formal desse problema Zuylen e Willumsen (1980) afirmam que se pode utilizar os métodos lagrangeanos, como o encontrado na literatura, no livro de Ortuzar e Willumsen (2011). O uso destes métodos permite uma solução formal que pode ser definida da seguinte maneira:

$$T_{ij} = \exp \sum_a (\tau_a p_{ij}^a) = \prod_a X_a^{p_{ij}^a} \quad (9)$$

Onde τ_a são os multiplicadores de *Lagrange* correspondentes às restrições da contagem de tráfego,

$$X_a = \exp(-\tau_a) \quad (10)$$

Com a disponibilidade de uma matriz O-D antiga t ou outra matriz O-D estimada de um outro estudo como matriz O-D semente, a nova função objetivo torna-se:

$$\text{maximize } S(T_{ij}/t_{ij}) = - \sum_{ij} (T_{ij} \log T_{ij}/t_{ij} - T_{ij} + t_{ij}) \quad (11)$$

Sujeita à mesma restrição (8) e à não negatividade.

Existe um outro modelo baseado no princípio da minimização da informação denominado estimação da matriz ME2 (no inglês *maximum entropy matrix estimation*). O ME2 sempre reproduz as observações V'_a dentro de uma tolerância dada fornecidas pelas restrições num espaço factível, i.e. a Equação (8) deve ter pelo menos uma solução não negativa para T_{ij} .

$$S_2\left(\frac{T_{ij}}{t_{ij}}\right) = \frac{0.5(T_{ij} - t_{ij})^2}{T_{ij}} \quad (12)$$

Isto é na verdade um erro como medida de diferença entre os valores de t_{ij} e T_{ij} . Contudo, a matriz de estimação estará muito mais próxima da matriz a priori, a qual, quando carregada sobre a rede, pode reproduzir a contagem de tráfego.

Uma das características do chamado modelo ME2 é a sua natureza multiplicativa. Isto significa que, se uma célula na matriz semente é zero, permanecerá zero na solução também. Isto pode ser uma fonte de problemas se uma célula na matriz semente for zero por acaso (i.e., por causa da taxa de amostragem realizado no estudo) em lugar de apresentar um par O-D sem viagens. Uma solução pragmática para esse problema, para matrizes sementes muito escassas, é definir a "semente" nas células vazias com pequeno valor, por exemplo 0,5 viagens. As restrições, através do algoritmo de solução multi-proporcional ou outro, em seguida, irá garantir que algumas destas viagens cresçam a uma ou mais viagens completas, enquanto que os outros vão manter o valor próximo de zero.

A principal desvantagem do ME2 é que considera as contagens de tráfego como observações livres de erros nas variáveis não estocásticas. De fato, o modelo dá credibilidade completa às contagens de tráfego e usa a matriz a priori só para compensar a insuficiência de informações no processo de estimação. No entanto, isto pode não ser muito conveniente na prática. Para começar, é necessário reconhecer que as contagens de tráfego certamente não estão livres de erros.

Para além dos erros de contagem, há o problema das variações de tempo (de hora em hora, sazonal, etc.). Uma solução sugerida para este problema é a utilização de maximização de entropia com uma função objetiva composta (multi objetiva).

2.3.3.

Método de caminho único - SPME e Método de caminhos múltiplos – MPME

Como nos dois métodos de solução anteriores, aqui trata-se os dois últimos métodos com os quais pode-se chegar a uma solução do problema. Ambos métodos são práticos e fáceis de implementar.

2.3.3.1.

Método de caminho único - SPME

O método de caminho único ou SPME (do inglês, *Single Path Matrix Estimation*) utiliza as contagens de tráfego só ao longo do caminho ótimo entre cada par O-D. A estimação da matriz de viagem é feita para ser ajustada tão bem quanto seja possível a partir da contagem de tráfego da seguinte maneira:

$$\min_{\overline{\overline{T}}_{ij}} [f_1(\overline{\overline{t}}_{ij}, \overline{\overline{T}}_{ij}, \overline{V}_a, \overline{T}_a)] \quad (13)$$

Onde, f_1 estima cada elemento na nova matriz O-D; $\overline{\overline{t}}_{ij}$ é a matriz semente descrevendo o tráfego da zona i para j ; $\overline{\overline{T}}_{ij}$ é a matriz O-D estimada, \overline{V}_a é a contagem de tráfego no arco a e \overline{T}_a é a alocação de tráfego, dada por $\overline{T}_a = f_2(\overline{\overline{t}}_{ij}; \overline{\overline{T}}_{ij})$ onde, f_2 poder ser qualquer modelo de alocação de tráfego.

Para minimizar o desvio médio entre a contagem de tráfego e alocação de tráfego ao longo do caminho ótimo entre cada par O-D é preciso calcular o tráfego esperado para cada segmento onde o tráfego foi contado:

$$T_{(E)ija} = \frac{V_a}{T_a} \cdot t_{ij} \quad (14)$$

Onde, $T_{(E)ija}$ é o tráfego esperado entre a zona i e j em relação à contagem de tráfego sobre o arco a , t_{ij} é um elemento da matriz O-D semente ou da matriz a

partir da iteração precedente, $\frac{V_a}{T_a}$ define a fração pela qual T_a deve ser multiplicada para replicar V_a . É uma razão, porque todos os elementos da matriz com respeito a sua contagem específica devem ser modificados com a mesma relação para replicar a contagem. A média aritmética poder ser usada para estimar as matrizes O-D a partir do valor esperado do tráfego, sendo este considerado como seguindo uma distribuição normal.

$$T_{ij} = \frac{1}{N_{a \in (\tau, r)}} \cdot \sum_{a \in (\tau, r)} T_{(E)ija} \quad (15)$$

Onde τ é o conjunto de arcos com contagens de tráfego ao longo da rota r e N é o número de contagens ao longo do caminho.

2.3.3.2.

Método de caminhos múltiplos - MPME

A diferença do SPME com o método de caminhos múltiplos ou MPME é que usa todas as contagens ao longo dos caminhos de acordo a probabilidade de escolha de cada um deles.

Assim, a contagem de tráfego entre cada par O-D dever ser a soma do tráfego esperado ao longo de cada rota multiplicado pela probabilidade de escolher a rota.

$$T_{ij(n)} = \sum_r (T_{(E)ija} \cdot p_{ijr}) \quad (16)$$

Onde n é o número da iteração e p_{ijr} é a probabilidade da rota r ser usada entre i e j . Esta função objetivo atribui um peso muito elevado sobre a rota escolhida, porque em cada rota é alocado o mesmo peso, independentemente do número de contagens ao longo da rota.

O tráfego esperado ao longo de cada trajeto pode ser assumido como a média do tráfego esperado, como definido por cada contagem ao longo da rota.

$$T_{(E)ija} = \frac{1}{N_{a \in (\tau, r)}} \cdot \left(\sum_{a \in (\tau, r)} T_{(E)ija} \right) \quad (16a)$$

E o tráfego esperado, igual que no SPME, é considerado para cada contagem de tráfego, assim:

$$T_{(E)ija} = \frac{V_a}{T_{a(n-1)}} \cdot T_{ij(n-1)} \quad (16b)$$

Geralmente, p_{ijr} depende do volume de tráfego em cada arco, ou seja, a escolha da rota é não proporcional, e alocação anterior $T_{a(n-1)}$ depende exclusivamente de outra matriz anterior $T_{ij(n-1)}$, que é considerada como matriz O-D semente, até chegar a convergência.

2.3.4.

Independência e inconsistência da estimação da matriz e a contagem de tráfego

Na contagem de tráfego existem dois problemas relativos que devem ser considerados para determinar se a contagem está sendo suficientemente adequada na estimação da matriz O-D. Trata-se da independência e da inconsistência.

2.3.4.1.

Independência

Nem sempre todas as contagens de tráfego tem a mesma quantidade de informação, i.e., nem todo arco adiciona necessariamente nova informação, sendo redundantes muitos deles. Por exemplo, na Figura 4 o arco c é a somatória do tráfego dos arcos a e b , de maneira que c é redundante e os arcos a e b independentes.

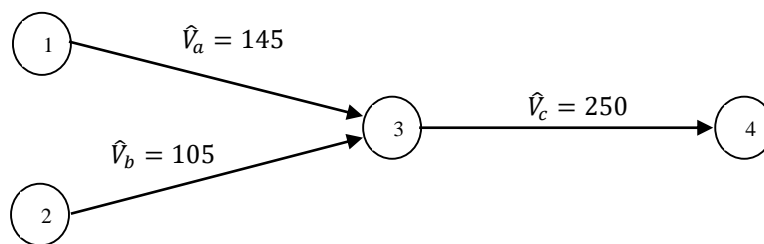


Figura 4 – Contagem dependente

2.3.4.2.

Inconsistência

Ortúzar e Willumsen (2011) afirmam que os erros na contagem podem trazer inconsistências nos fluxos devido à obtenção de dados feita em diferentes ocasiões (horária, diária, semanal, mensal) do período do estudo. Se na Figura 4, a contagem \hat{V}_c fosse 270 no lugar de 250, a correspondente equação seria incompatível e nenhuma matriz de viagem reproduziria os possíveis fluxos.

Existem duas maneiras para identificar as inconsistências. A primeira é não satisfazer a condição de continuidade no fluxo, isso é que o “fluxo total de entrada” no nó não é igual ao “fluxo total de saída” no mesmo nó. A segunda fonte é a incompatibilidade entre o modelo de atribuição de tráfego e o fluxo observado. Por exemplo, um modelo de alocação pode-se atribuir zero viagens num arco que tem fluxo observado. Nesta condição o modelo da rota escolhida não será capaz de reproduzir uma matriz com o fluxo do arco observado.

2.4.

Indicador de validação de aceitabilidade GEH

O GEH é um indicador, desenvolvido pelo planejador de transportes Geoffrey E. Havers no 1970 na Londres, Inglaterra.

Este indicador tem a capacidade de comparar os valores dos fluxos modelados respeito aos fluxos observados, onde enfatiza mais sobre os fluxos maiores que nos fluxos menores, ao contrário do que acontece com os fluxos comparados por diferença percentual (TfL, 2010).

A formula estatística do GEH é empírica e semelhante ao teste estatístico de qui-quadrado, porque incorpora os erros relativos e absolutos, mas neste caso,

consegui evitar alguns defeitos causados pelas diferenças que possuem. Os valores do GEH podem ser calculados para *links* individuais o grupais. Por exemplo, um *screenline* ou um valor para toda a rede. Além disso, o uso do GEH é reconhecido pela *Highways Agency*, do Departamento de Transportes do Reino Unido.

A seguir, mostra-se a formula do GEH:

$$GEH = \sqrt{\frac{(M - C)^2}{(M + C)/2}} \quad (17)$$

Onde, M é o fluxo modelado e C o fluxo observado (DMRB, 1996). No GEH, os valores menores indicam um melhor ajuste entre os fluxos observados e modelados.

Na verificação de resultados, considera-se que um valor de GEH inferior a 5 indica um ajuste aceitável entre o modelo e os volumes contados. De acordo com o DMRB, 85% dos volumes num modelo de tráfego devem, então, ter o GEH inferior a 5. Admitem-se, por isso, até 15% de valores de GEH entre 5 e 10 com a ressalva que devem ser devidamente conferidos por possível erro no modelo ou nos dados. Com os valores superiores a 10, tem-se advertência de existir uma elevada probabilidade de erro no modelo ou nos dados.

A forma de comparação dos valores modelados em relação aos valores observados é através do análises de correlação entre os dois conjuntos de valores. O coeficiente de correlação (R) fornece uma indicação de qualidade do ajuste do modelo, e a inclinação da linha de regressão através da origem indica a medida em que foram modelados os valores dos fluxos, seja acima ou abaixo.

Na área principal de influência do esquema, valores aceitáveis estão acima de 0,95. O valor de 1.0 para ambas estatísticas representa um ajuste perfeito. No entanto, imprecisões nos resultados podem ser obtidas quando há uma ampla gama de fluxos.

A seguir na Tabela 1, mostra-se um exemplo de análises comparativa entre GEH e os valores percentuais.

Tabela 1 – Análises comparativa contrastando o GEH e percentuais.

M (PCU)	C (PCU)	GEH	Diferença porcentual %
10.000	9.000	10.3	11%
1.000	900	3.2	11%
100	90	1.0	11%
10.000	9.520	4.9	5%
1.000	850	4.9	18%
100	57	4.9	75%

Fonte: TfL (2010)

3.

O transporte de cargas na Região Metropolitana do Rio de Janeiro – RMRJ

Este capítulo tem como objetivo dar a conhecer que está acontecendo com o transporte veicular de cargas na Região Metropolitana do Rio de Janeiro – RMRJ.

O Plano Diretor da Região Metropolitana de Rio de Janeiro (PDTU/RMRJ) é um modelo originalmente elaborado pela Secretaria de Estado de Transporte – SETRANS no período de 2003 a 2005 mas, no ano de 2011 o Consórcio Halcrow-Sinergia-Setepla foi contratado para analisar e atualizar o modelo.

Desse modo, o PDTU/RMRJ propõe soluções, diretrizes e estratégias para o desenvolvimento dos sistemas de transporte e da mobilidade humana, para satisfazer as necessidades de transporte da população, promovendo políticas que ajudem a circulação de veículos de transporte coletivo e transporte individual nas áreas urbanas visando os espaços disponíveis e os impactos que possam gerar.

Além disso, para melhor analisar o tráfego devido ao transporte individual, o PDTU sentiu a necessidade de estudar a circulação de veículos de carga dentro da RMRJ e por isso surgiu o PDTU Cargas, que modela a circulação do transporte de cargas na RMRJ.

3.1.

Contextualização

A RMRJ pertence ao Estado do Rio de Janeiro, que está conformado por 92 municípios, os quais estão divididos em oito regiões de planejamento, que são: Região Metropolitana, Região Norte Fluminense, Região do Médio-Paraíba, Região das Baixadas Litorâneas, Região Serrana, Região da Costa Verde, Região Centro-Sul Fluminense, Região Noroeste Fluminense.

Segundo o Plano Estadual de Logística de Cargas (PELC-RJ) para o ano 2008, a RMRJ foi a que maior PIB apresentou dentro das regiões de planejamento com 67,8% do PIB estadual, seguida pela Região Norte Fluminense e a Região do Médio-Paraíba com 13% e 3% respectivamente. Para o ano 2010, de acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, a Região Metropolitana tinha 11.838.752 habitantes quase 75% da população total do estado do Rio de Janeiro, que é considerado como o 3º mais populoso com 8,39% da população brasileira.

Todo isto deve-se ao crescimento acelerado das economias emergentes, onde se tem grandes produtores no setor petrolífero, mineiro e outras *commodities*, fazendo que a economia esteja concentrada na RMRJ.

A área de abrangência do PDTU compreende 20 municípios, onde 19 municípios são integrantes da Região Metropolitana do Rio de Janeiro (RMRJ) e Mangaratiba. O motivo pelo qual foi incorporado o município é porque faz parte da “Rede Urbana Metropolitana”, a qual é uma rede que permite unir os principais focos logísticos, comerciais, educacionais e de saúde com as áreas urbanas através de acessos rodoviários, metroviários, ferroviários etc., e que contribuem na economia e desenvolvimento da RMRJ. A Cidade do Rio de Janeiro é a capital da RMRJ, sendo Belford Roxo, Duque de Caxias, Guapimirim, Itaboraí, Itaguaí, Japeri, Magé, Mangaratiba, Maricá, Mesquita, Nilópolis, Niterói, Nova Iguaçu, Paracambi, Queimados, São Gonçalo, São João de Meriti, Seropédica e Tanguá, seus municípios membros. Na Figura 5, podem ser apreciados os 20 municípios mencionados.

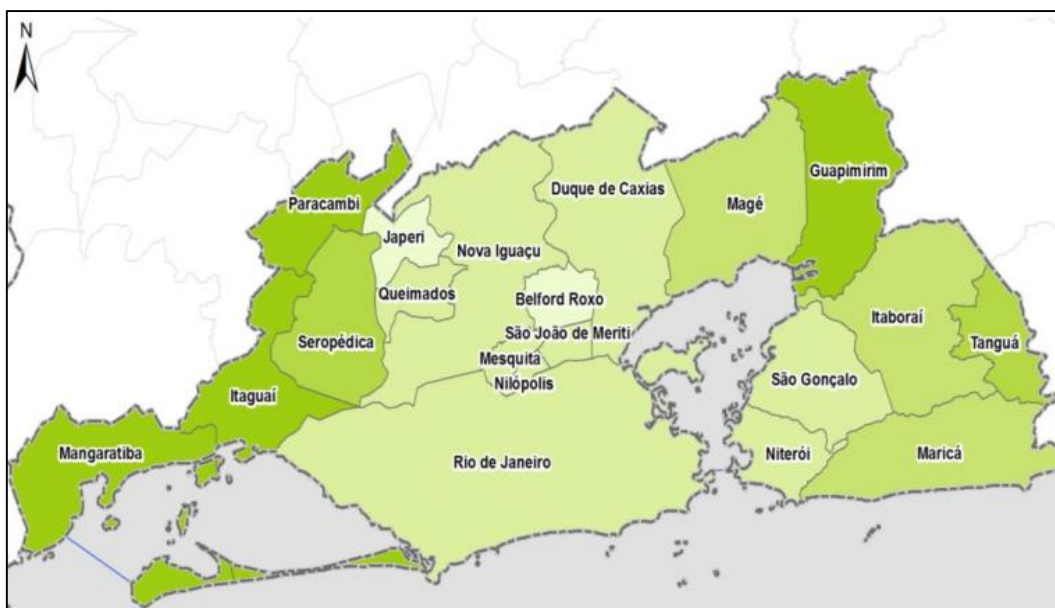


Figura 5 – Municípios da RMRJ contemplados PDTU

Fonte: PDTU (2013)

3.2.

Análise de transporte de carga na rede viária

É importante destacar que o transporte de carga urbana faz parte fundamental da economia e ainda mais nos últimos anos com o crescimento do setor industrial, onde o fluxo das mercadorias fazem parte direta da vida das pessoas nas cidades gerando, desse modo mais congestionamento nas regiões centradas.

A movimentação rodoviária de cargas na RMRJ é bastante intensa e, em alguns pontos das áreas urbanas, tem profundo impacto na circulação viária. Entre eles encontram-se:

- Os novos centros de atração ou produção de carga rodoviária, tais como o complexo petroquímico do Rio de Janeiro - COMPERJ, atividades siderúrgicas, novos polos de apoio às pesquisas e exploração de petróleo;
- As mudanças do uso do solo no entorno do Arco Rodoviário Metropolitano;
- Os fluxos de cargas de embarques e desembarques que estão se desviando para o Porto de Sepetiba;
- Modificações na legislação de circulação de veículos de cargas na área urbana, em especial na Capital e nas rodovias de acesso;
- Mudanças no sistema viário, em especial no acesso aos portos.

Este tipo de problema tem três atores importantes os quais estão em constante interação um com o outro, os quais abrangem a problemática desde óticas diferentes. Sendo eles, o operador logístico, as pessoas moradoras da cidade e o poder público. A Figura 6, indica dito relacionamento, que ligado ao ambiente industrial, às mudanças do momento atual e ao aumento da competitividade, são importantes e para o transporte de carga urbana.

Os operadores logísticos procuram o aumento da competitividade no mercado, a redução do custo total da cadeia de suprimentos, sendo fundamentais os custos de distribuição e recoleção, e a adequação da frota.



Figura 6 – Atores que intervêm na movimentação rodoviária de cargas

Segundo o Instituto de Logística e *Supply Chain* – ILOS, para o ano 2011 há aumento da diversidade de produtos, com redução no tamanho de pedidos e crescimento do número de compradores e de pontos de coleta e entrega, aumentando desta forma a complexidade destas operações e contribuindo para um impacto maior nos custos, conforme é indicado na Figura 7.



Figura 7 – Desafios da distribuição de transportes de cargas

Fonte: ILOS (2011)

Cidades como Rio de Janeiro possuem áreas congestionadas, as indústrias se deslocam para outros polos e transportadores buscam rotas e estratégias operacionais alternativas para superar este obstáculo. No decorrer do tempo, as capacidades e tamanhos dos caminhões vêm crescendo (Figura 8) e suas restrições nos centros urbanos também. Para o caso da cidade as restrições na Ponte Rio – Niterói e a Linha Amarela são só alguns.



Figura 8 – Tipos de veículos de carga

Fonte: Sinergia

Afinal, a movimentação de cargas precisa do bom funcionamento da rede viária de transporte nos centros urbanos para que serviços como os de armazenamento e distribuição sejam mais adequados e consigam mitigar as inconformidades para as pessoas.

Por outro lado, as pessoas moradoras da cidade, com as possibilidades oferecidas no mercado (Internet, telefone) para aquisição de produtos, têm mudado seus hábitos de compra, aumentando assim as expectativas de consumo, razão que leva a um incremento de tráfego nas vias pelo cumprimento nos tempos de entrega.

Isto não só afeta o ambiente físico como também o ambiente social, já que a presença de caminhões nas vias urbanas representa um fator de incômodo por razões psicológicas. Com a movimentação de veículos de carga a poluição, o ruído, a emissão de gases e as vibrações são impactos negativos que acontecem nos centros urbanos com efeitos nocivos não só para a população como também para os próprios motoristas. Assim que, os grandes corredores de transporte de carga devem levar em consideração a importância da manutenção e a adequação do pavimento, além da segurança dos usuários envolvidos neste processo para impedir a ocorrência de acidentes sérios. Esses acidentes, além de poderem ser fatais, impactam na fluidez pelas dificuldades em retirar o veículo e as cargas, aumentando os congestionamentos.

A relação da estrutura urbana e o transporte de cargas é dada pelas dimensões da cidade, pelos efeitos nos preços das mercadorias e dos fretes e pelos determinantes do uso do solo urbano.

Finalmente, a última visão do problema é dada pelo poder público que procura o equilíbrio entre os operadores logísticos e os moradores da cidade, com o desenvolvimento econômico e a eficiência do transporte com o mínimo de impactos ambientais e implicações sócias.

Para a produtividade dos sistemas de transporte de carga urbana é necessária a intervenção conjunta dos setores público e privado, proporcionando condições necessárias de infraestrutura, regulamentação, desenvolvimento de veículos adequados, estratégias operacionais e terminais de carga e descarga.

Para o caso do Rio de Janeiro, a cidade além de ter uma grande participação de transporte de carga regional, é densamente urbanizada e carente de infraestrutura que viária com conexão aos polos industriais. Isto cria a necessidade de que os caminhões entrem na cidade aumentando consideravelmente os fluxos de passagens de carga.

O gráfico a seguir (Figura 9) indica a redução percentual da capacidade de vias arteriais e coletoras semaforizadas à medida que se aumenta o percentual de veículos pesados. Isto deve-se ao impacto, na capacidade, da circulação de veículos de transporte de carga interna, que ocorre em vias de menor nível hierárquico.

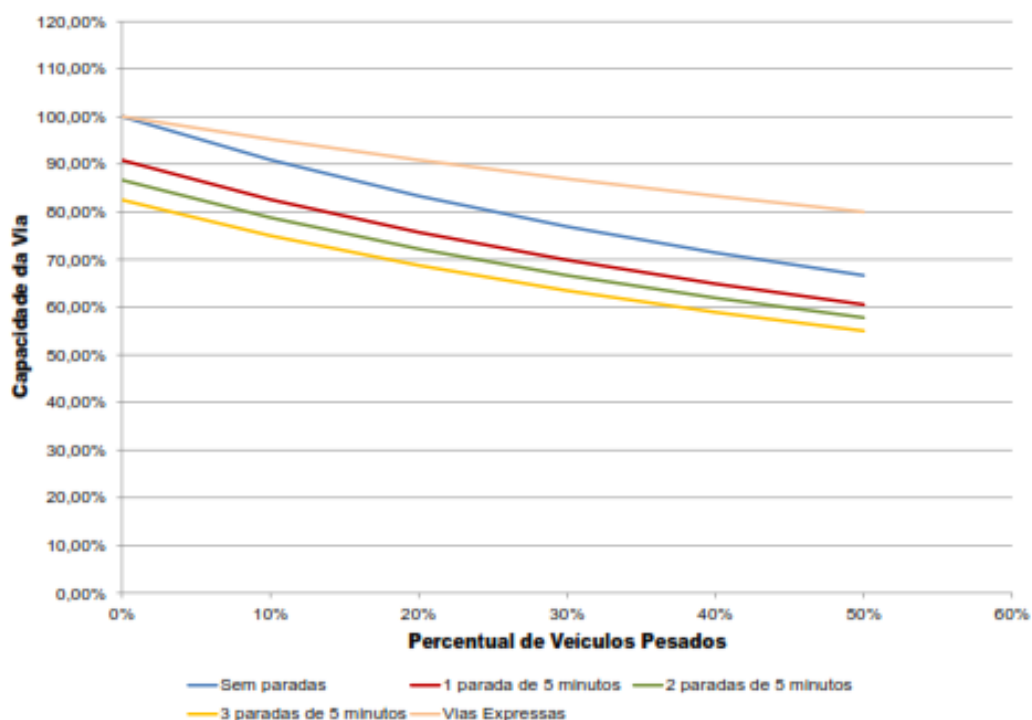


Figura 9 – Variação da capacidade viária em função do percentual de veículos de carga

Fonte: *Highway Capacity Manual*(1998)/ Sinergia

3.3.

Circulação do transporte de veículos de carga na RMRJ

No sistema de transporte rodoviário, além dos fluxos que tem influência nos tempos de viagem de ônibus e automóveis o PDTU, considera-se necessário especificar os fluxos de caminhões, os quais são consideravelmente grandes.

De acordo com o PDTU, são três os tipos de movimentação de transporte veicular de cargas na RMRJ, conforme ilustra a Figura 10.

- Externo – Externo, são aqueles caminhões que entram e saem da RMRJ, sem que seja o destino ou origem dos produtos. Fazem as paradas de apoio em

algum ponto da rede rodoviária, geralmente em locais de menor impacto sobre o trânsito local.

- Externo – Interno, indica as trocas com origem ou destino de cargas dentro da RMRJ. Estes já têm influência marcante no sistema rodoviário, uma vez que ocorrem nas vias principais de acesso, as quais tendem a ser muito utilizadas para os deslocamentos de veículos de passageiros.

- Interno – Interno, indicam os movimentos de origem e destino dos veículos de transporte de cargas dentro da RMRJ.

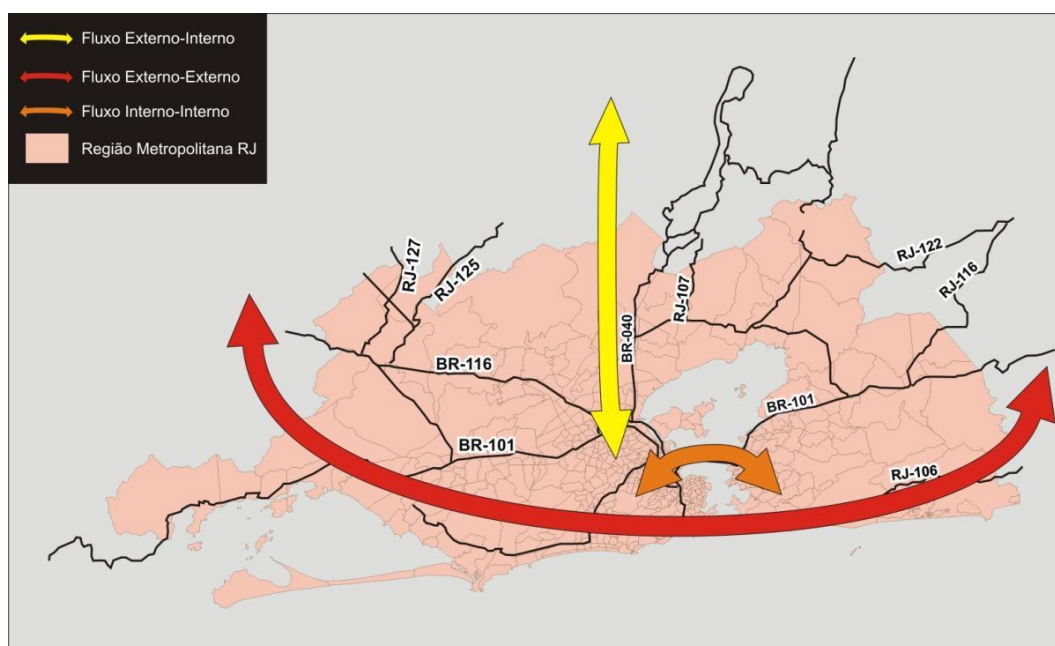


Figura 10 – Fluxos rodoviários de transporte de carga da RMRJ

Fonte: PDTU (2013)

3.3.1.

Fluxo rodoviário de carga externo – externo e externo – interno

Para a obtenção de fluxos e sua caracterização, foram realizadas pesquisas em 12 locais em que a malha viária interceptava o limite dos municípios componentes da RMRJ, além de utilizar informações secundárias provenientes das praças de pedágio das rodovias concessionadas existentes dentro da RMRJ.

A seguir se apresentam os postos de contagem da pesquisa e as praças de pedágio das concessionárias (Figura 11) e o transporte de cargas anual e o tráfego diário de caminhões para o ano 2011. Aqui é possível notar uma diferença de

14,81% a mais de produtos que entram na RMRJ do que saem. Um dos motivos é o fato que a região é um grande polo consumidor e demanda mais produtos do que produz. Referente ao tipo Externo – Externo a mesma quantidade de carga que entra, sai porque somente cruzam a RMRJ.

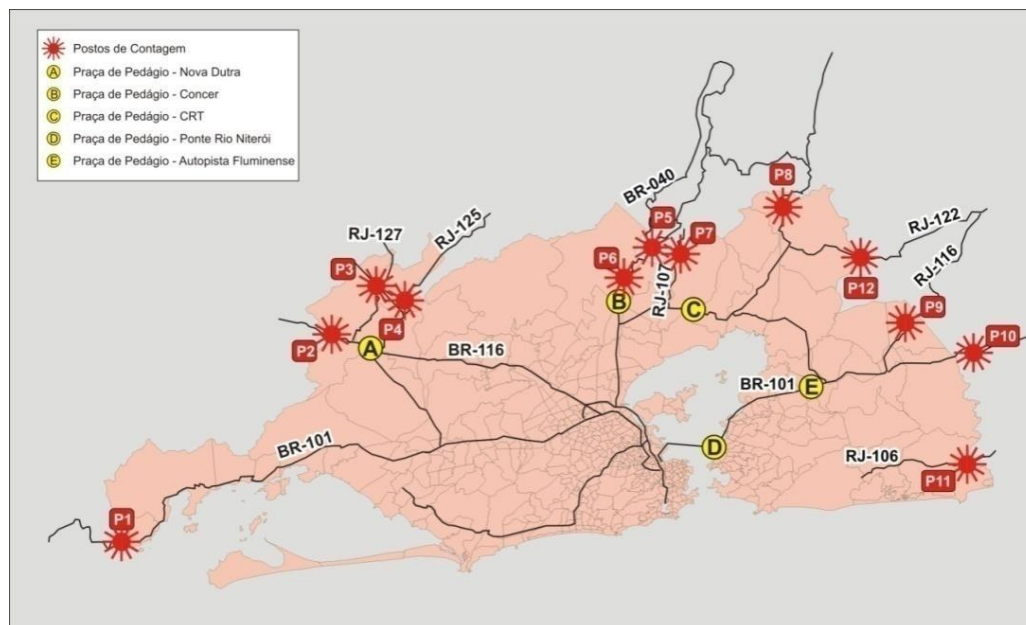


Figura 11 – Postos de pesquisa e praças de pedágio da RMRJ

Fonte: PDTU (2013)

Tabela 2 – Carga anual e caminhões diários por tipo de movimentação para 2011.

Tipo de movimentação em relação à RMRJ	Toneladas por ano	Caminhões diários
Interna-Externa	10.443.152	15.268
Externa-Interna	11.990.213	14.882
Externa-Externa	3.573.402	4.756
Total	26.006.767	34.906

Fonte: PDTU (2013)

3.3.2.

Fluxo rodoviário de carga interno – interno

A Região Metropolitana tinha 12 milhões habitantes no ano 2013 e é claro que seu volume de carga movimentada é muito grande. A frota de caminhões no Estado do Rio de Janeiro é de 113.902 veículos, sendo 56.000 na RMRJ.

Segundo o PDTU, a FRETRANSCARGA, entidade que representa o setor

econômico de transporte de cargas no âmbito dos 92 municípios fluminenses levantou os principais polos logísticos do Rio de Janeiro e da RMRJ e o PELC-RJ os portos secos. São apresentados na Figura 12, os nove polos logísticos.

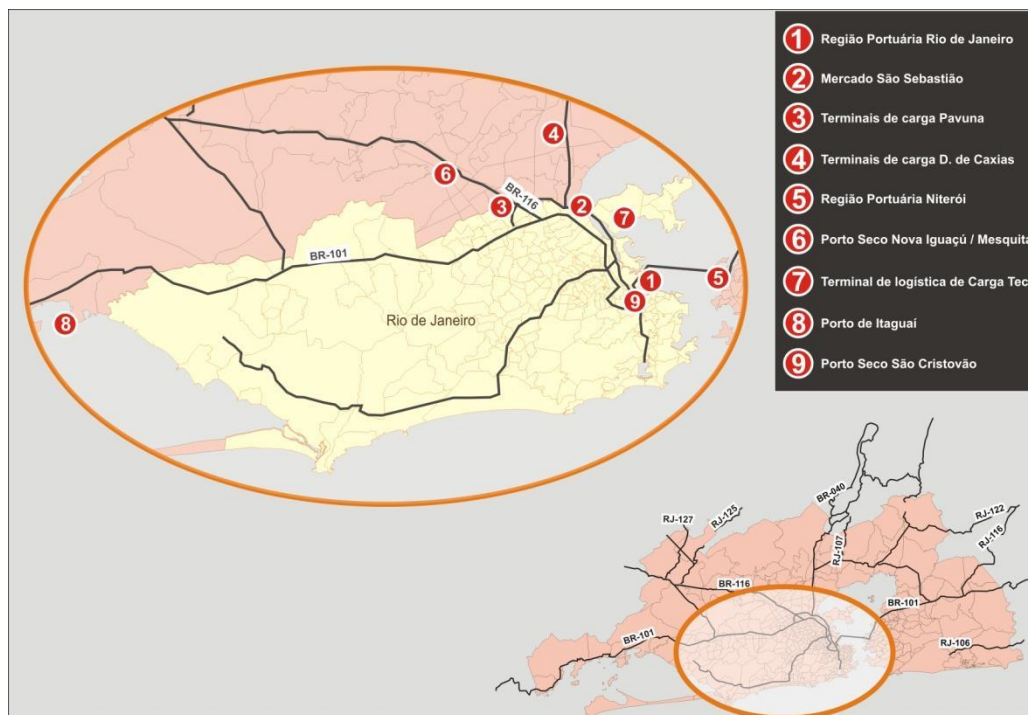


Figura 12 – Principais polos logísticos da RMRJ

Fonte: PDTU (2013)

Segundo a FETRANSCARGA, junto com o PDTU, a RMRJ mostra uma descentralização em termos de carga, razão pela qual cria necessidades viárias mais complexas, com a rede cada vez mais conectada e com usos especializados para os veículos rodoviários. Os principais destinos das cargas no Rio de Janeiro e na RMRJ são: Centro da Cidade, Madureira, Campo Grande, Copacabana, Ipanema, Leblon, Barra da Tijuca, Itaguaí, Nova Iguaçu, Caxias, Niterói e São Gonçalo. E as principais cargas no fluxo rodoviário de carga interno – interno são principalmente seis: material de construção, carga lotação, carga fracionada, cargas líquidas, mudanças, cargas prioritárias e lixo.

O estudo da circulação interna de veículos de carga na RMRJ teve como objetivo simular os fluxos e assim estimar seus impactos sobre a capacidade viária. Foram identificados “atores” que estão em constante interação e são os responsáveis

pela circulação de veículos de carga dentro da RMRJ. De acordo com trabalho desenvolvido por Fernandez (2014) os atores são os seguintes:

- **Atacadistas:** São empresas que comercializam produtos em grandes quantidades. Os atacadistas são os fornecedores dos locais varejistas e realizam suas entregas em caminhões de grande capacidade. Podemos considerar dentro de atacadista, as transportadoras, os grandes Centros de Distribuição, e estabelecimentos que realizam a fabricação e distribuição dos seus produtos. (Figura 13).



Figura 13 – Atacadistas da RMRJ
Fonte: PDTU (2013)

- **Varejistas:** São as empresas que comercializam produtos em menor quantidade e têm contato direto com o consumidor final. Podem ser observados diversos tipos de locais de varejistas (loja de móveis, loja de roupas etc.), cada qual com suas respectivas características sobre a venda dos seus produtos. Mas no que diz respeito à entrega de produtos a domicílio em veículos de carga, nem todas elas realizam estas operações. (Figura 14).

- **População:** Procuram satisfazer suas necessidades de bens e serviços. Realizam pedidos aos varejistas locais e ao mesmo tempo exigem um ambiente adequado para viver (redução da poluição ambiental, sem ruídos, circulação

moderada de veículos etc.).

- Planejadores da rede viária: São os encarregados de conceber e executar soluções para a melhoria do estado da circulação de veículos na rede viária da área urbana.

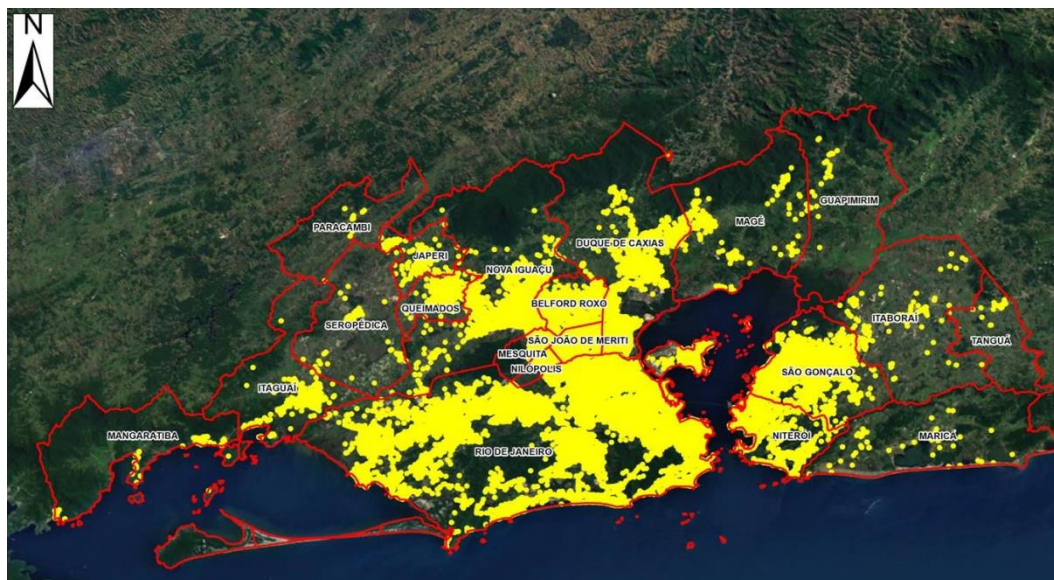


Figura 14 – Varejistas da RMRJ, exemplo supermercados

Fonte: PDTU (2013)

De acordo com o descrito anteriormente, a seguir se apresentam as interações dos atores, especificamente para o caso de transporte de cargas da RMRJ. (Figura 15).

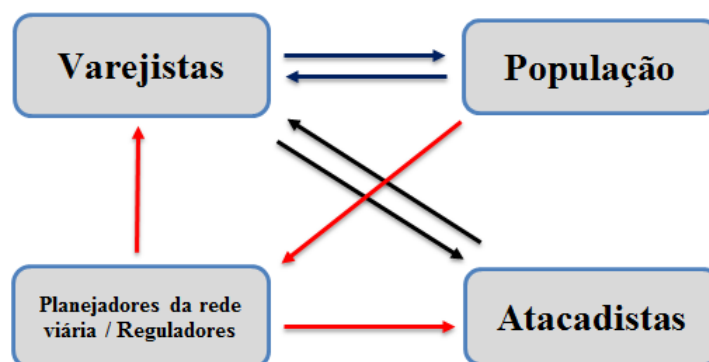


Figura 15 – Interações entre os atores do PDTU parte Cargas

Fonte: Fernández (2014)

As interações mencionadas anteriormente podem ser quantificadas pelo número de viagens que estão sendo realizadas dentro da RMRJ, sendo 730 zonas de tráfego.

Também foram considerados 10 setores de atividades, além dos períodos de tempo e as restrições da malha viária. Para tanto foi desenvolvida uma modelagem e realizadas pesquisas nos locais de varejistas e atacadistas. As viagens a serem calculadas são:

- B2B: *Business to Business* (Entregas Atacadistas a Varejistas)
- B2H: *Business to Housing* (Entrega Varejista a Domicílio ou Entregas

Domiciliares).

Finalmente, quando o modelo de geração de viagens é executado, a etapa seguinte é o cálculo de matrizes O-D, o qual foi desenvolvido utilizando a técnica *Matrix Estimation* - ME2 reproduzindo assim as contagens de viagens de veículos de carga. Estas matrizes fazem parte do resultado da pesquisa. A Tabela 3, apresenta a matriz O-D semente por município no período do pico da manhã.

Tabela 3 – Matriz O-D semente por município no período do pico da manhã.

Município Origem	Município Destino																				Total Geral
	Belford Roxo	Duque de Caxias	Guapimirim	Itaboraí	Itaguaí	Japeri	Magé	Mangaratiba	Maricá	Mesquita	Nilópolis	Niterói	Nova Iguaçu	Paracambi	Queimados	Rio de Janeiro	São Gonçalo	São João de Meriti	Seropédica	Tanguá	
Belford Roxo		55,655		0,162					0,027		0,051	0,283				145,539	0,444	6,141		0,030	208,3
Duque de Caxias	59,635	192,498	17,149	9,940	15,403	13,121	68,418	4,400	5,034	38,522	41,408	20,325	140,500	8,210	24,041	442,356	44,668	50,944	18,061	1,571	1216,2
Guapimirim		2,293			0,765			0,242	0,426		0,035	11,729				11,041	8,592	0,432			35,6
Itaboraí		8,680			2,885			0,910	8,187		0,135	44,021				41,622	31,829	1,633			139,9
Itaguaí	0,010	19,226	1,113	0,104			4,440		0,019	0,087	0,800	0,202	0,045			76,133	0,285	7,957	0,011	0,015	110,4
Japeri		6,064		0,000					0,000			0,000	0,358			108,943	0,000	3,630	0,276	0,000	119,3
Magé		9,083			3,030			0,956	1,686		0,141	49,834				43,736	34,031	1,713			144,2
Mangaratiba	0,003	5,362	0,344	0,032			1,373		0,006	0,032	0,257	0,062				19,572	0,088	2,559		0,005	29,7
Maricá	1,098	6,581	0,133	2,853	1,552	0,162	0,531	0,489	7,636	0,523	0,598	37,932	1,761	0,101	0,297	22,356	32,459	0,928	0,033	0,710	118,7
Mesquita		13,379		0,006					0,001	0,013		0,013				46,983	0,020	6,694	2,829	0,001	69,9
Nilópolis	1,766	5,625	0,213	0,140	4,086	1,184	0,849	0,757	0,021	1,006	0,064	0,226	8,404	0,740	2,199	111,259	0,316		3,340	0,017	142,2
Niterói	18,339	47,550	2,257	7,089	4,724	2,658	9,003	1,487	17,165	8,615	8,853	51,543	28,941	1,663	4,869	67,298	20,831	3,650	0,457	1,394	308,4
Nova Iguaçu		74,577	0,031	0,046	0,018	0,272	0,125		0,006		0,001	0,074		0,157		165,178	0,106	43,479	2,534	0,010	286,6
Paracambi		2,981		0,000					0,000			0,000	0,537			106,271	0,000	1,784	0,136	0,000	111,7
Queimados		13,339		0,000					0,000			0,000				22,296	0,000	7,986	0,069	0,000	43,7
Rio de Janeiro	91,062	622,075	32,108	19,992	81,532	46,885	128,134	24,020	5,457	49,189	50,835	52,118	472,391	37,734	33,967	2286,634	72,491	110,182	71,070	3,815	4291,7
São Gonçalo	13,705	49,739	1,685	4,973	8,199	1,987	6,724	2,583	81,651	6,441	6,822	87,009	21,638	1,244	3,642	116,747	2,918	5,363	0,336	1,041	424,4
São João de Meriti	22,702	43,655	2,903	1,527	4,001	9,358	11,582		0,316	12,475	0,154	3,198	78,049	5,863	17,100	297,869	4,451		13,051	0,253	528,5
Seropédica		30,039		0,020	0,004	0,134			0,004		0,652	0,039	2,692	0,034		158,331	0,055	2,690	0,165	0,003	194,9
Tanguá		1,796			0,597			0,188	2,412		0,028	9,173				8,610	6,718	0,338			29,9
Total Geral	208,3	1210,2	57,9	46,9	126,8	75,8	231,2	36,0	130,1	116,9	110,8	367,8	755,3	55,7	86,1	4298,8	260,3	258,1	112,4	8,9	8554,3

Fonte: Fernández (2014)

4.

Estimação de matrizes O-D a partir da contagem de tráfego com o uso do *software* TransCAD

Neste capítulo a apresenta-se o desenvolvimento do método de solução e a metodologia do processamento dos dados no *software* TransCAD 4.5.

TransCAD é um Sistema de Informação Geográfica (SIG) para o planejamento de transportes desenvolvido pela empresa americana *Caliper Corporation* especializada em consultoria neste tipo de *softwares*. TransCAD tem como objetivo armazenar, mostrar e analisar os dados de transporte. Sua vantagem consiste na combinação das propriedades de um SIG com as capacidades de modelagem de transporte.

Esta parte do trabalho, está baseada num ambiente SIG e com as ferramentas para estimação de geração e distribuição de viagens, modelos de distribuição modal e processo de alocação, além dos elementos básicos de um *software* de planejamento de transporte, que ajudam na manipulação e tratamento da informação.

4.1.

Desenvolvimento do método solução

Para a solução do problema selecionou-se o método de caminho único (SPME) porque este pode-se basear em qualquer um dos métodos de alocação de tráfego. Além disso, se a contagem tiver inconsistência, isto não afeta gravemente os resultados da estimação, é prático e seu algoritmo encontra-se no TransCAD 4.5.

O método de Nielsen (1998) é um processo iterativo ou bi-nível que alterna a etapa de alocação de tráfego e a etapa de estimação da matriz O-D. O procedimento requer uma matriz O-D semente. Esta pode ser uma estimação a priori baseada em estudos de contagem ou ser gerada sinteticamente.

Para o entendimento do método de Nielsen e com base nas equações 13, 14 e 15 seguem os passos da solução:

Passo 1: inicialização: o número do conjunto da iteração, $n=1$ e o conjunto da matriz de viagem $T_{ij(0)} = \text{matriz semente}$.

Passo 2: alocar $\overline{T_{ij(n-1)}}$ sobre a rede de tráfego e guardar os fluxos $\overline{T_{a(n-1)}}$.

Passo 3: Estimar a matriz conforme a equação 15. O caminho ótimo deve ser encontrado seja por Dijkstra ou outro algoritmo.

Passo 4: Critério de parada: acontece de acordo a um conjunto de critérios de parada. Se ocorreu pare, caso contrário volte para o passo 2.

Este algoritmo é considerado muito eficiente, porque é necessário só uma alocação de tráfego para cada iteração principal. A memória requerida para salvar os caminhos é menor.

Para ilustrar o método de Nielsen mostra-se um exemplo prático (Figura 16). A rede está composta por 3 zonas, 5 arcos e 2 interseções.

A matriz semente tem dois pares O-D, $T_{1-5} = 300$ e $T_{2-5} = 360$ e o modelo de alocação é de caminho único.

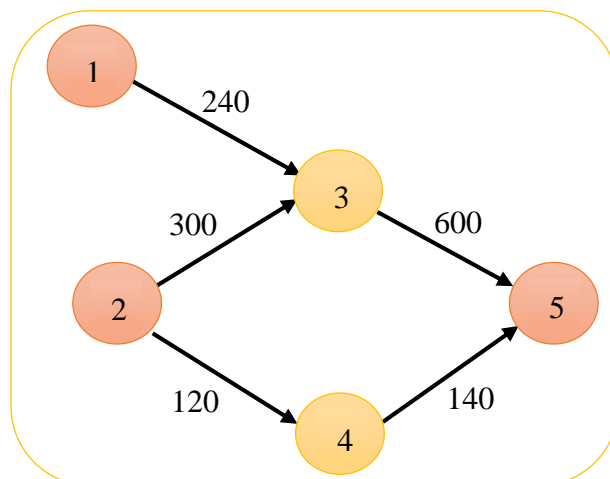


Figura 16 – Exemplo contagem de tráfego
Fonte: Nielsen (1998)

A seguir, mostra-se o resultado final na Tabela 4 e na Figura 17, a solução do exemplo.

Tabela 4 – Passo a passo do exemplo usando o SPME

Passos	Rotas	Alocação e tráfego esperado nos arcos					Estimação da Matriz	
		a_{1-3}	a_{3-5}	a_{2-3}	a_{2-4}	a_{4-5}	$T_{15(n-1)}$	$T_{25(n-1)}$
Contagem de Trafego	V_a	240	600	300	120	140	300	360
Matriz Semente	$T_{ij(0)}$							
Alocação	$r1-3-5$	300	300					
	$r2-3-5$		240	240				
	$r2-4-5$				120	120		
	$T_a(0)$	300	540	240	120	120		
Estimação da Matriz	$T_{(E) 1-3-5}$	240	333,33				286,67	
	$T_{(E) 2-3-5}$		400	450				425
Alocação	$T_a(1)$	286,67	570	283,33	141,67	141,67		
Estimação da Matriz	$T_{(E) 1-3-5}$	240	301,75				270,88	
	$T_{(E) 2-3-5}$			447,37	450			448,68
Alocação	$T_a(2)$	270,88	570	299,12	149,56	149,56		
Estimação da Matriz	$T_{(E) 1-3-5}$	240	285,13				262,57	
	$T_{(E) 2-3-5}$		472,3	450				461,15
Alocação	$T_a(3)$	262,57	570	307,43	153,72	153,72		
Estimação da Matriz	$T_{(E) 1-3-5}$	240	276,39				258,19	
	$T_{(E) 2-3-5}$		485,42	450				467,71
Alocação	$T_a(4)$	258,19	570	311,8	155,9	155,9		
Estimação da Matriz	$T_{(E) 1-3-5}$	240	271,78				255,89	
	$T_{(E) 2-3-5}$		492,33	450				471,16
Alocação	$T_a(5)$	255,89	570	313,44	157,05	157,05		
Estimação da Matriz	$T_{(E) 1-3-5}$	240	269,36				254,68	
	$T_{(E) 2-3-5}$		495,96	450				472,98
Alocação	$T_a(6)$	254,69	570	315,32	157,66	157,66		
Estimação da Matriz	$T_{(E) 1-3-5}$	240	268,08				254,04	
	$T_{(E) 2-3-5}$		497,87	450				473,93
Alocação	$T_a(7)$	254,04	570	315,96	153,72	153,72		
Estimação da Matriz	$T_{(E) 1-3-5}$	240	267,41				253,7	
	$T_{(E) 2-3-5}$		498,87	450				474,43
Alocação	$T_a(8)$	253,7	570	316,29	157,98	157,98		
Estimação da Matriz	$T_{(E) 1-3-5}$	240	267,05				253,53	
	$T_{(E) 2-3-5}$		499,4	450				474,7
Alocação	$T_a(9)$	253,53	570	316,47	153,72	153,72		
Estimação da Matriz	$T_{(E) 1-3-5}$	240	266,87				253,43	
	$T_{(E) 2-3-5}$		499,68	450				474,85
Alocação	$T_a(10)$	253,53	570	316,57	158,23	158,23		

Fonte: Nielsen (1998)

A solução da matriz O-D a partir da contagem de tráfego é representada na Figura 17, $T_{1-5} = 253,44$ e $T_{2-5} = 474,85$

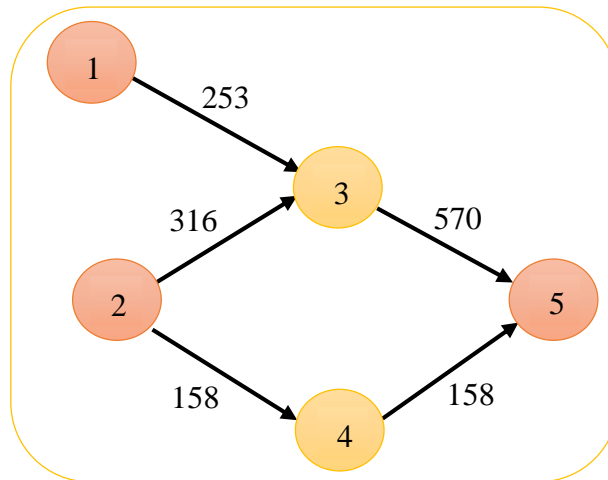


Figura 17 – Solução do exemplo
Fonte: Nielsen (1998)

4.2.

Desenvolvimento do método solução com o uso do software TransCAD

TransCAD 4.5 fornece um procedimento flexível e efetivo para a estimativa de matrizes O-D com contagem de tráfego.

Com os métodos descritos no capítulo 2 do presente trabalho se procura a consistência com o comportamento da rota escolhida, de modo que as contagens de tráfego podem ser estimadas como resultado de um processo de alocação em que uma matriz é carregada através da rede. Os arcos utilizados são dependentes dos fluxos e devem ser calculados com fluxos de equilíbrio. No caso da existência de uma matriz semente disponível, esta é apropriada para encontrar uma outra matriz que esteja próxima da matriz semente. A contagem de tráfego é uma variável estocástica e pode ser inconsistente com o fluxo de conservação. Os métodos que tratam as contagens como determinísticos são instáveis ou irreais. Geralmente, as contagens encontram-se disponíveis para um conjunto pequeno de arcos e para que a amostra seja efetiva deve ser composta por um número suficiente de contagens dispersos sobre a rede.

TransCAD conta com dois procedimentos básicos para a estimação de matrizes O-D. Um é o método desenvolvido por Nielsen (1998) e o outro por Heinz Spiess (1987).

Nielsen desenvolveu o método independentemente como um procedimento para o *software* TransCAD 3.0 e este foi implementado pela *Caliper Corporation*. Entre as vantagens deste método é que as contagens de tráfego são tratadas como variáveis estocásticas, porém pode ser escolhido qualquer método de alocação, como tudo ou nada, UE ou SUE.

O segundo método é baseado no trabalho de Spiess, que utiliza a técnica do gradiente para minimizar as mudanças feitas da matriz O-D semente.

Para a estimação da matriz O-D se requer os seguintes dados de entrada: a contagem de tráfego, a matriz base e o método de alocação de tráfego mas, dependendo deste último, serão requeridos mais dados.

4.2.1

Metodologia de estimação da matriz O-D a partir da contagem de tráfego no TransCAD 4.5

Nesta seção do capítulo vai ser descrita o passo a passo para a estimação da matriz O-D com as contagens de tráfego no *software* TransCAD, com objetivo que seja compreendido seu uso através de um exemplo simples e possa ser aplicado no problema foco.

♦ Preparação dos dados de entrada: primeiro precisa-se de uma rede com o *layer* dos *links* e os nós (Figura 18) guardados no TransCAD no *geographic file*_. Depois, é preciso ter a matriz O-D semente e a contagem de tráfego (Figura 19).

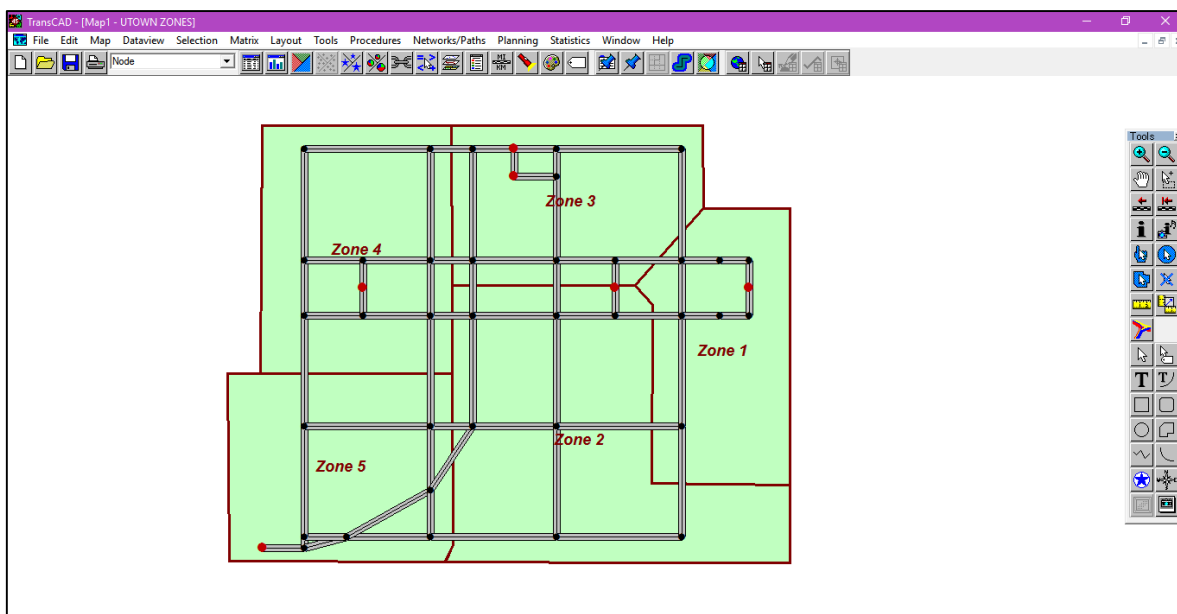


Figura 18 – Rede com todos os links e nós
Fonte: TransCAD

ID	LENGTH	DIR	DATA	[A Node]	[B Node]	Distance	Type	Area	Zone	[Geog. Location]	[Use Code]	[AB Count Peak Hour]	[BA Count Peak Hour]	Connector	Zero	Constant
5189	1.55	0	30	114	120	1.65	2-Way w/ Parking	Outlying	4	2	...	...	...	1	0	...
5195	1.55	0	27	112	118	1.65	Expressway	Residential	3	2	...	700	700	1	0	...
5201	1.18	0	41	123	124	1.10	2-Way w/ Parking	Residential	2	2	...	1300	1300	1	0	...
5207	0.78	1	33	117	123	0.95	1-Way No Parking	Residential	2	1	...	50	50	1	0	...
5214	1.18	0	32	117	118	1.10	2-Way w/ Parking	Residential	3	2	...	750	750	1	0	...
5220	1.16	0	17	105	117	1.10	2-Way w/ Parking	Outlying	3	2	...	1300	1300	1	0	...
5226	0.59	0	26	112	114	0.65	2-Way w/ Parking	Outlying	4	2	...	50	50	1	0	...
5232	0.59	0	18	106	112	0.60	2-Way w/ Parking	Outlying	3	1	...	700	700	1	0	...
5239	0.39	0	6	3	106	0.50	Connector	Outlying	3	2	...	...	...	0	0	...
5245	0.59	0	5	3	105	0.50	Connector	Outlying	3	2	...	...	55	0	0	...
5251	0.59	0	19	106	111	0.50	2-Way w/ Parking	Outlying	3	2	...	50	50	1	0	...
5257	0.39	0	16	105	111	0.55	2-Way w/ Parking	Residential	3	2	...	300	300	1	0	...
5264	1.77	0	56	134	135	1.75	2-Way w/ Parking	Other	2	3	...	...	...	1	0	...
5270	1.77	0	47	128	129	1.75	2-Way w/ Parking	Outlying	2	2	...	350	350	1	0	...
5276	1.55	0	48	128	134	1.60	2-Way w/ Parking	Other	1	3	...	50	50	1	0	...
5282	1.55	0	40	122	128	1.20	2-Way w/ Parking	CBD Fringe	1	1	...	350	350	1	0	...
5289	0.83	0	12	103	123	1.15	2-Way w/ Parking	CBD Fringe	2	1	...	1350	1350	1	0	...
5295	0.39	0	3	2	103	0.30	Connector	CBD Fringe	2	1	...	...	33	0	0	...
5301	0.39	0	4	2	104	0.30	Connector	CBD Fringe	2	1	...	...	44	0	0	...
5307	0.83	0	14	104	117	1.15	2-Way w/ Parking	CBD Fringe	3	1	...	1600	1600	1	0	...
5314	0.94	0	13	103	122	0.60	2-Way No Parking	CBD Fringe	2	1	...	1550	1550	1	0	...
5320	0.70	1	39	122	116	0.95	1-Way No Parking	CBD	1	1	...	...	...	1	0	...
5326	0.94	0	15	104	116	0.60	2-Way No Parking	CBD Fringe	3	1	...	1550	1550	1	0	...
5333	1.55	0	25	110	116	1.65	2-Way w/ Parking	CBD Fringe	3	1	...	350	350	1	0	...
5339	1.77	0	24	110	111	1.75	2-Way w/ Parking	Outlying	3	2	...	50	50	1	0	...
5345	0.53	0	36	119	122	0.00	2-Way No Parking	CBD Fringe	1	1	...	150	150	1	0	...
5351	0.41	0	11	102	119	0.50	2-Way No Parking	CBD	1	1	...	1700	1700	1	0	...
5358	0.39	0	2	1	102	0.50	Connector	CBD	1	1	...	...	22	0	0	...
5364	0.39	0	1	1	101	0.50	Connector	CBD	1	1	...	...	11	0	0	...
5369	0.39	0	1	1	101	0.50	Connector	CBD	1	1	...	150	150	1	0	...
5374	0.39	0	1	1	101	0.50	Connector	CBD	1	1	...	1750	1750	1	0	...
5379	0.39	0	1	1	101	0.50	Connector	CBD	1	1	...	...	...	0	0	...
5384	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	...	...	5	3	...	...	...	0	0	...
4384	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	...	...	5	3	...	100	100	1	0	...
4536	1.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	...	...	5	3	...	2350	2350	1	0	...
4938	1.00	1.00	0.00	1.00	1.00	1.00	...	...	5	3	...	...	...	0	0	...
5002	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	...	...	5	3	...	...	...	0	0	...

Figura 19 – Matriz semente e contagem de tráfego
Fonte: TransCAD

• Passo 1: já com a matriz O-D semente e o arquivo *geographic file* prontos, neste passo é definida a criação de centróides (cor vermelho), e a definição da rede de transporte (cor cinza). Com isto procede-se a criar a *network*, que é a rede matemática com a qual vai-se trabalhar. (Figura 20).

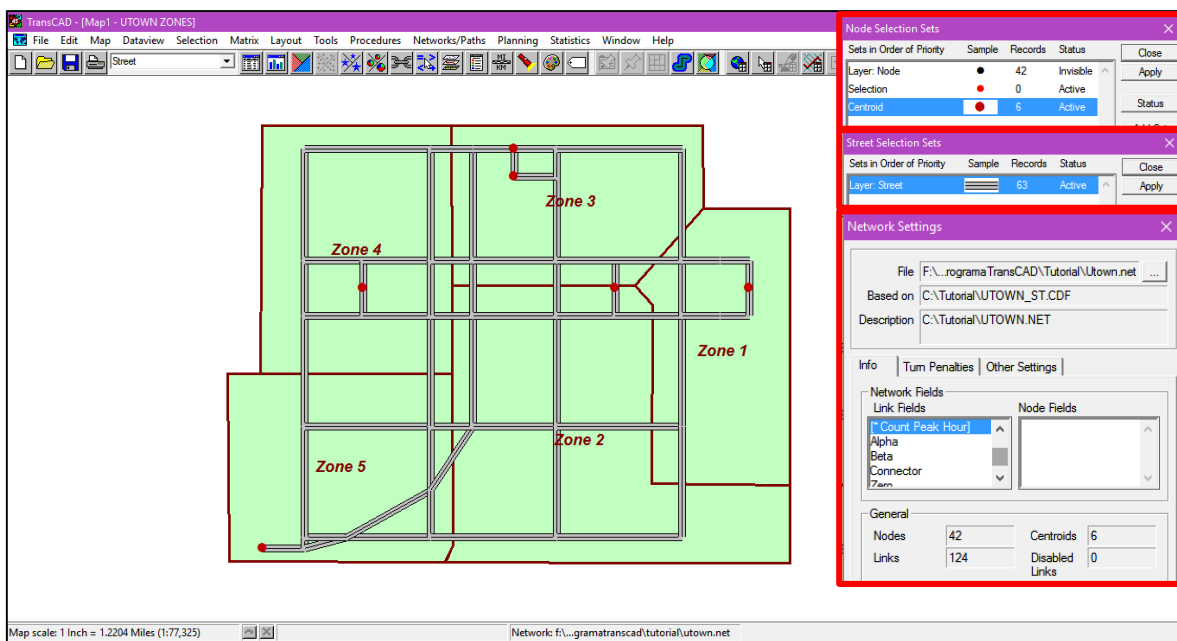


Figura 20 – Rede de transporte

Fonte: TransCAD

• Passo 2: o processo de alocação de tráfego deve ser aplicado neste passo. Para isso foi selecionado o método de usuário de equilíbrio porque minimiza o tempo individual das viagens dos usuários na rede. Como resultado, tem-se o volume dos fluxos da rede de transporte (Figura 21).

Type	AB Count Peak Hour	BA Count Peak Hour	ID1	AB Flow	BA Flow	TOT Flow	AB Time	BA Time	MAX Time	AB_voc	BA_voc
2-Way w/ Parking	--	--	5189	0.0000	0.0000	0.0000	4.5000	4.5000	4.5000	0.0000	0.0000
Expressway	700	700	5195	0.0000	0.0000	0.0000	2.1064	2.1064	2.1064	0.0000	0.0000
2-Way w/ Parking	1300	1300	5201	1392.5764	315.1612	1707.7376	2.5585	2.3577	2.5585	0.8440	0.1910
1-Way No Parking	50	50	5207	0.0000	--	0.0000	1.7813	--	1.7813	0.0000	--
2-Way w/ Parking	750	750	5214	1065.4243	393.6945	1459.1188	2.4097	2.3582	2.4097	0.6457	0.2386
2-Way w/ Parking	1300	1300	5220	721.9432	248.6968	970.6401	3.0835	3.0012	3.0835	0.6563	0.2261
2-Way w/ Parking	50	50	5226	0.0000	0.0000	0.0000	1.7727	1.7727	1.7727	0.0000	0.0000
2-Way w/ Parking	700	700	5232	0.0000	0.0000	0.0000	1.6364	1.6364	1.6364	0.0000	0.0000
Connector	--	--	5238	0.0000	0.0000	0.0000	2.0000	2.0000	2.0000	0.0000	0.0000
Connector	--	55	5245	721.9432	248.6968	970.6401	2.0000	2.0000	2.0000	0.0722	0.0249
2-Way w/ Parking	50	50	5251	0.0000	0.0000	0.0000	1.3636	1.3636	1.3636	0.0000	0.0000
2-Way w/ Parking	300	300	5257	0.0000	0.0000	0.0000	1.1786	1.1786	1.1786	0.0000	0.0000
2-Way w/ Parking	--	--	5264	0.0000	0.0000	0.0000	3.7500	3.7500	3.7500	0.0000	0.0000
2-Way w/ Parking	350	350	5270	0.0000	0.0000	0.0000	4.7727	4.7727	4.7727	0.0000	0.0000
2-Way w/ Parking	50	50	5276	0.0000	0.0000	0.0000	3.4286	3.4286	3.4286	0.0000	0.0000
2-Way w/ Parking	350	350	5282	0.0000	0.0000	0.0000	2.8800	2.8800	2.8800	0.0000	0.0000
2-Way w/ Parking	1350	1350	5288	1392.5764	315.1612	1707.7376	2.8346	2.7602	2.8346	0.6330	0.1433
Connector	--	33	5295	1000.9868	147.3621	1148.3489	1.8000	1.8000	1.8000	0.1001	0.0147
Connector	--	44	5301	41.5494	150.2177	191.7671	1.8000	1.8000	1.8000	0.0042	0.0150
2-Way w/ Parking	1600	1600	5307	369.3713	170.8879	540.2593	2.7602	2.7602	2.7602	0.1679	0.0777
2-Way No Parking	1550	1550	5314	169.6954	393.4858	563.1812	1.4400	1.4400	1.4400	0.0530	0.1230
1-Way No Parking	--	--	5320	0.0000	--	0.0000	2.5909	--	2.5909	0.0000	--
2-Way No Parking	1550	1550	5326	20.9865	328.1382	349.1247	1.4400	1.4400	1.4400	0.0066	0.1025
2-Way w/ Parking	350	350	5333	0.0000	0.0000	0.0000	3.9600	3.9600	3.9600	0.0000	0.0000
2-Way w/ Parking	50	50	5338	0.0000	0.0000	0.0000	4.7727	4.7727	4.7727	0.0000	0.0000
2-Way No Parking	150	150	5345	393.4858	169.6954	563.1812	1.2001	1.2000	1.2001	0.1640	0.0707
2-Way No Parking	1700	1700	5351	393.4858	169.6954	563.1812	1.3638	1.3636	1.3638	0.1640	0.0707
Connector	--	22	5358	393.4858	169.6954	563.1812	3.0000	3.0000	3.0000	0.0393	0.0170
Connector	--	11	5364	328.1382	20.9865	349.1247	3.0000	3.0000	3.0000	0.0328	0.0021
2-Way No Parking	150	150	5370	328.1382	20.9865	349.1247	1.2001	1.2000	1.2001	0.1367	0.0087
2-Way No Parking	1750	1750	5376	328.1382	20.9865	349.1247	1.3637	1.3636	1.3637	0.1367	0.0087
Connector	--	--	4664	1426.0138	2288.7287	3714.7425	2.0001	2.0008	2.0008	0.1426	0.2289
2-Way w/ Parking	100	100	4670	0.0000	135.0516	135.0516	1.6364	1.6364	1.6364	0.0000	0.1228

Dataview: Records 1 - 33 of 63. Network: F:\...gramatranscad\tutorial\utown.net

Figura 21 – Volume dos fluxos.

Fonte: TransCAD

• Passo 3: Neste passo é estimada a matriz O-D. Para isso é necessário dispor das contagens específicas e o resultado da alocação de tráfego do passo anterior. Como resultado se tem a matriz O-D com a estimação dos fluxos entre as 5 zonas (Figura 22).

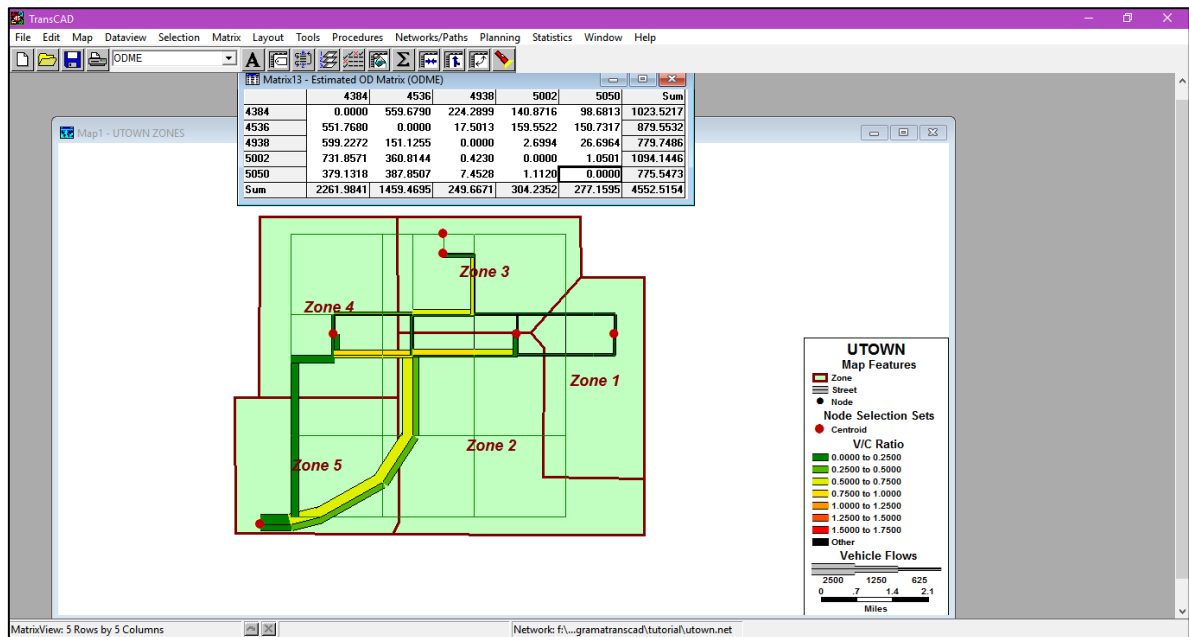


Figura 22 – Matriz estimada e o volume/capacidade da rede de transporte.
Fonte: TransCAD

No próximo capítulo faz-se referência ao problema foco do trabalho que é a estimação de transporte de carga com matrizes O-D com contagem de tráfego na RMRJ e apresenta-se os resultados do trabalho.

5.

Estudo de caso

O enfoque principal do trabalho é a estimação de matrizes O-D a partir da contagem de tráfego de transporte de veículos de carga na Região Metropolitana do Rio de Janeiro (RMRJ) referente a fluxo rodoviário interno nos períodos dos horários do pico da manhã e pico da tarde.

Este estudo de caso tem como base os dados apresentados pelo PDTU (2013) parte cargas e o trabalho desenvolvido por Fernández (2014). Trata dos veículos de transporte de cargas da RMRJ, desenvolvendo um modelo de transporte tradicional de quatro etapas. Este modelo pode ser usado como ferramenta para o planejamento de transporte cargas, simulando as previsões de crescimento no total de viagens, na mudança de padrões de viagem, em definições de rotas através da rede viária na RMRJ.

5.1.

Abrangência geográfica

A área de abrangência engloba 20 municípios que constituem a RMRJ que está subdividida em 730 zonas de tráfego. Estas zonas estão baseadas nos setores do IBGE e pelo conjunto de investimentos nela inseridos, de acordo com a análise da evolução e tendências futuras do uso do solo. A Tabela 5, mostra os municípios com o intervalo para cada zona e a Figura 25 visualiza as zonas e os municípios na rede de acordo com o PDTU.

Tabela 5 – Codificações de municípios por zona

PDTU 2013	Municípios	Intervalo da Zona		Quantidade de Zonas
		De	Para	
1	BELFORD ROXO	457	465	9
2	DUQUE DE CAXIAS	466	509	44
3	GUAPIMIRIM	510	514	5
4	ITABORAÍ	515	535	21
5	ITAGUAÍ	536	543	8
6	JAPERI	544	548	5
7	MAGÉ	549	558	10
8	MANGARATIBA	559	563	5
9	MARICÁ	564	573	10
10	MESQUITA	574	589	16
11	NILÓPOLIS	590	603	14
12	NITERÓI	604	650	47
13	NOVA IGUAÇU	651	668	18
14	PARACAMBI	669	673	5
15	QUEIMADOS	674	681	8
16	RIO DE JANEIRO	1	456	456
17	SÃO GONÇALO	682	709	28
18	SÃO JOÃO DE MERITI	710	723	14
19	SEROPÉDICA	724	729	6
20	TANGUÁ	730	730	1

Fonte: PDTU (2013)

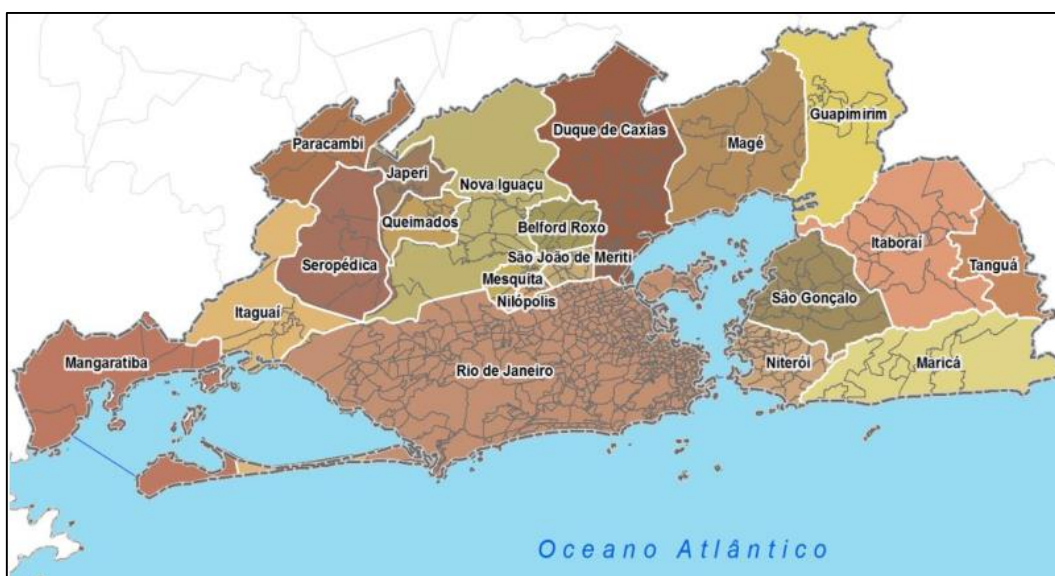


Figura 23 – Municípios e zonas da RMRJ

5.2.

Dados da pesquisa

Para o desenvolvimento do trabalho foi necessária de dados obtidos em pesquisas do PDTU (2013) e de Fernandez (2014). A seguir apresenta-se os dados que serviram de base para a estimação:

- Rede de transporte de cargas da RMRJ, incluindo todos os nós e *links* e os parâmetros relevantes por *link*, para representar o lado da oferta.
- Dados origem e destino (com base no trabalho de Fernández, 2014) usados para desenvolver a matriz semente.
- Contagens de tráfego do transporte carga para o período do pico da manhã (AM) e do pico da tarde (PM).

5.2.1.

Rede de transporte de cargas da RMRJ

A rede de transporte da RMRJ, têm como ano base o 2012 e serve tanto para pesquisas de transporte coletivo e individual, onde no transporte individual encontra-se o transporte de carga, considerado como veículos que carregam a rede.

A Tabela 6, mostra o número de pesquisas de origem e destino.

Tabela 6 – Pesquisas de Origem e Destino.	
Tipo da pesquisa	Número de entrevistas
Interceptação	177.750
Metrô	12.277
Trem	27.798
Barcas	2.265
Rodoviárias	2.234
Aeroportos	2.077
Cordão externo	15.880

Fonte: Consórcio Halcrow-Sinergia-Setepla

A rede completa contém 43.156 *links* e 16.549 nós. A Figura 24, ilustra um detalhe da rede de transporte de veículos de carga na RMRJ e a estrutura complexa de *links* e nós nessa parte da cidade. Os centróides das zonas são identificados como nós vermelhos e os nós de via são identificados em preto. Esses centróides e nós permitem a conexão entre a rede e as matrizes de viagem. A Tabela 7, apresenta um

resumo dos *links* e nós da rede de transporte de veículos de carga num zona determinada.

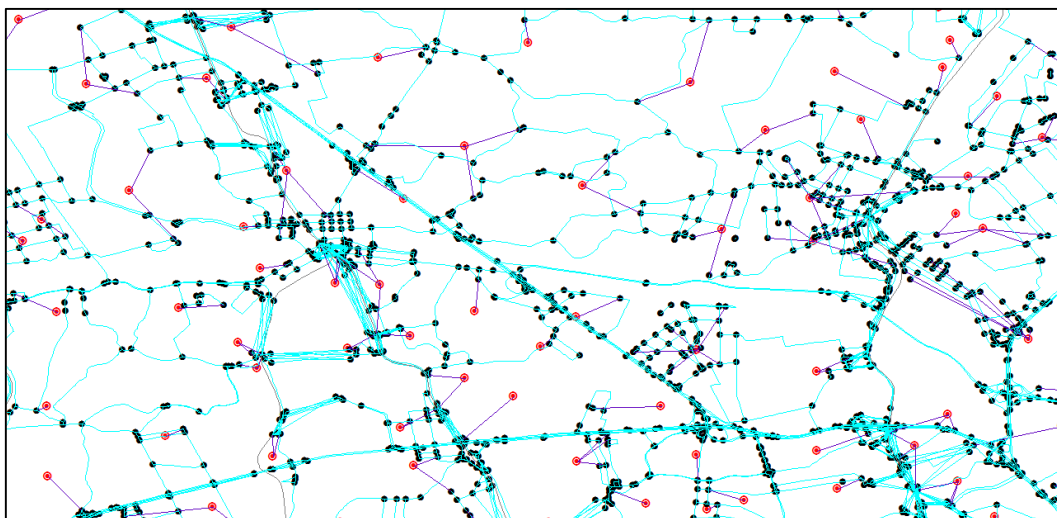


Figura 24 – Detalhe da rede de transporte de cargas da RMRJ

Tabela 7 – *Links* e nós da rede de transporte de carga.

Características do Modelo	Número
TransCAD	4.5
Modais	6
Centróides/Zonas	730
Nós regulares	16.549
<i>Links</i> direcionados	43.156
Conectores	3.311
<i>Links</i> rede transporte de carga	85.592

Dentro do TransCAD 4.5 cada *link* pode ser consultado filtrando-se um ou mais modais, permitindo assim a diferenciação dos dados entre as redes modais. No caso de transporte de cargas o código que pode-se utilizar é “1”, para definir o modal caminhões e, com isso, selecionar os *links* relativos a esse modal, mas como caminhões pertencem ao grupo de veículos de transporte individual e compartilha a via com os automóveis e ônibus é preciso filtrar mais de um modal para criar a rede (Tabela 8).

Na Tabela 9, se mostra o resumo dos tipos de *links* por hierarquia dentro do modelo. Para o caso dos caminhões tem que se saber que não podem utilizar a ponte

Rio-Niterói durante o horário de pico da manhã, razão pela qual os *links* rodoviários são removidos da ponte no período estipulado.

Tabela 8 – Tipos de veículos

Código TransCAD	Modal
C	Automóveis
B	Ônibus (não integrado)
I	Ônibus intermunicipal
X	Ônibus (municipal)
W	Pedestre (tarifa integrada)
L	Caminhão

Fonte: Consórcio Halcrow-Sinergia-Setepla

Tabela 9 – Hierarquia dos veículos

Hierarquia do Veículo	Tipo	Número de Links	Comprimento (Km)
Estrada	1	419	592,84
Expressa Principal	2	1.652	1.015,57
Expressa Marginal	3	509	133,68
Arterial Primária Principal	4	798	192,78
Arterial Primária Marginal	5	474	71,83
Arterial Secundária - Baixo Atrito	6	993	267,42
Lateral			
Arterial Secundária - Alto Atrito	7	3.790	626,59
Lateral			
Coletora/Distribuidora	8	14.760	4.696,26
Local	9	11.008	3.505,06
Local	99	2.831	2.439,25

Fonte: Consórcio Halcrow-Sinergia-Setepla

5.2.2.

Contagens de tráfego

A contagem volumétrica consiste principalmente em contabilizar veículos durante um dia em determinadas vias da cidade. Neste trabalho tem-se definido os períodos de contagem e os veículos alvo que são: caminhões de 2 eixos e 3 eixos ou mais, como mostra a Figura 8.

Na realização desta pesquisa foi importante determinar a quantidade de caminhões que transitam dentro da RMRJ. No PDTU (2013) tem-se 15 estações de contagem (incluindo a Ponte Rio – Niterói e a Linha Amarela) que formam nós

estratégicos da região. Este conjunto de estações são denominadas como *Screenlines* e seu objetivo é de englobar todas as viagens através de uma zona ou um limite. Porém, o sistema rodoviário da RMRJ não conta como uma rede de postos de contagem permanente, o que limita o número de contagens disponíveis ao período em que foram executados.

A Figura 25, identifica os 15 *Screenlines* incluídos na rede viária, e na Figura 26 observa-se os postos de contagem em pontos estratégicos da RMRJ, sendo 142 nós no total, dos quais a maior proporção encontra-se dentro do município do Rio de Janeiro.

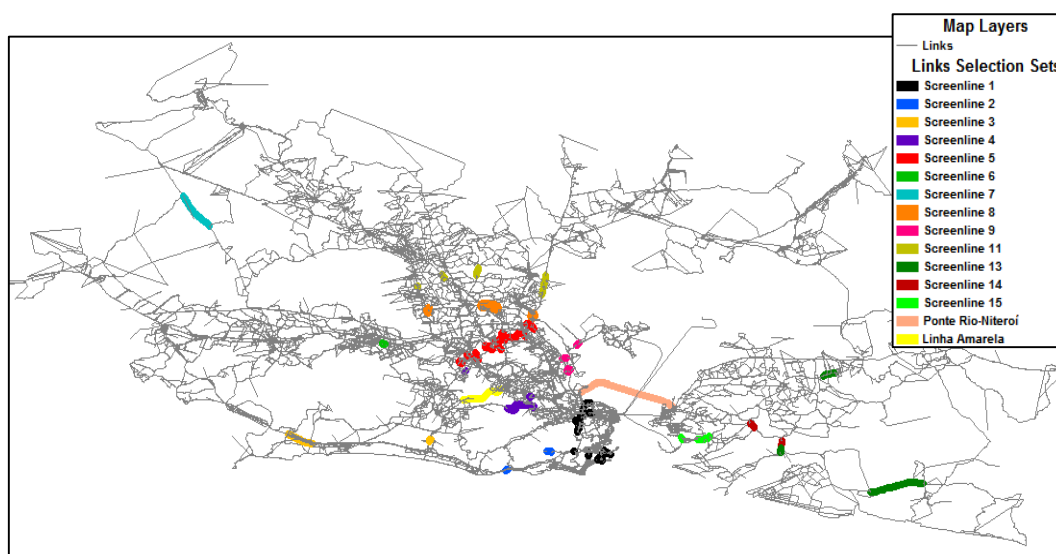


Figura 25 – Screenlines da RMRJ

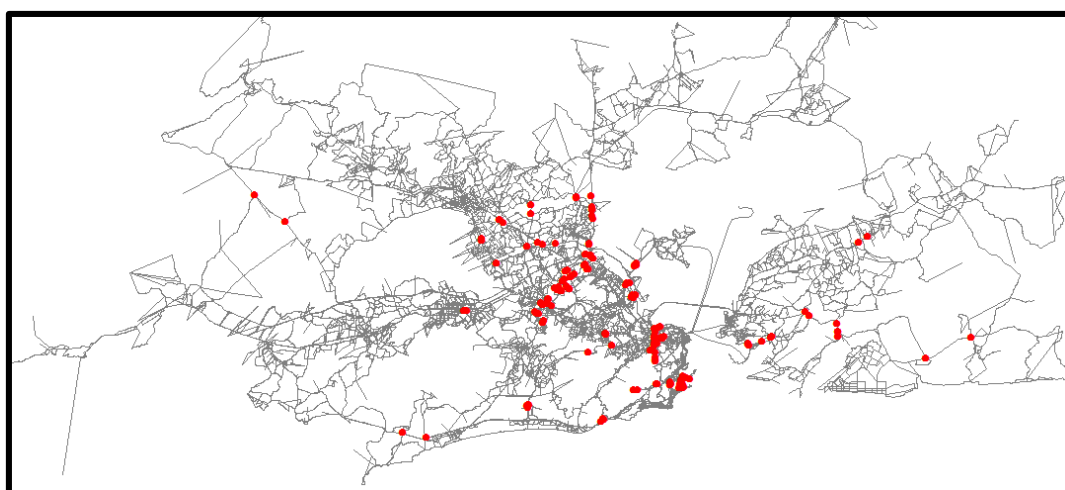


Figura 26 – Locais de contagem da RMRJ

5.2.2.1

Período de contagem

Com referência no trabalho de Fernández (2014), a pesquisa é feita para dois intervalos de tempo:

- Horário de Pico da Manhã – AM (7:00 às 8:00);
- Horário de Pico da Tarde – PM (17:30 às 18:30).

Cada período possui sua própria rede e reflete as variações de fluxo em partes específicas da RMRJ. As redes incorporam as restrições a caminhões, como por exemplo, a proibição de travessia da Ponte Rio-Niterói nos horários de pico e também em grande parte do centro da cidade.

São três as principais normas que restringem a circulação de caminhões na cidade do Rio de Janeiro as quais foram impostas pela Secretaria de Transportes da Cidade para evitar congestionamento nas vias principais.

A primeira é a proibição das operações de carga e descarga e a circulação de caminhões de segunda a sexta feira, das 6:00 às 10:00 (período pico da manhã) e das 17:00 às 20:00 (período pico da tarde) nas vias que ficam dentro do perímetro formado pelas vias mostradas na Tabela 10. Só os caminhões de mudança, de serviço de emergência e de transporte de combustível, podem passar pelo pontos de bloqueio.

Tabela 10 – Vias que formam o cerco de restrição para trânsito de caminhões.

Vias/Ruas com restrição para trânsito de veículos pesados (caminhões)	
- Avenida Francisco Bicalho	- Estrada Intendente Magalhães
- Rua Francisco Eugênio	- Largo do Campinho
- Avenida Bartolomeu de Gusmão	- Rua Cândido Benício
- Rua Visconde de Niterói	- Largo do Tanque
- Praça Guilhermina Guinle	- Avenida Geremário Dantas
- Rua Senador Bernardo Monteiro	- Praça Professora Camisão
- Rua Largo de Benfica	- Estrada de Jacarepaguá
- Avenida Dom Helder Câmara	- Avenida Engenheiro Souza Filho
- Viaduto de Cascadura	- Estrada do Itanhangá
- Praça José de Souza Marques	- Estrada da Barra da Tijuca
- Rua Ângelo Dantas	- Ponte Nova
- Rua João Vicente	- Praça Euvaldo Lodi
- Estrada Henrique de Melo	- Avenida Ministro Ivan Lins

Fonte: Fernández (2014)

A segunda norma vigente é a proibição da circulação de caminhões na Linha Amarela nos períodos de pico, das 6:00 às 10:00 e das 17:00 às 20:00 de segunda a sexta feira.

A terceira norma é a proibição da passagem de qualquer tipo de caminhão pela Ponte Rio-Niterói entre 4:00 às 10:00, somente na pista com sentido Rio de Janeiro. No sentido Niterói no mesmo horário, só os caminhões de dois eixos (tocos) podem circular, sendo válida para todos os dias (úteis, finais de semana e feriados). A Figura 27, mostra as vias que têm as proibições de circulação de caminhões antes nomeadas.



Figura 27 – Restrições de circulação

5.2.3.

Matrizes Origem Destino (O-D) sementes

De acordo com o já dito no capítulo 3 deste trabalho, o resultado do trabalho de Fernández (2014), foi um Modelo de Geração, que calcula a produção e atração de viagens dos veículos de carga da RMRJ e que são utilizados para calcular as matrizes O-D. Estas são tomadas neste trabalho como matrizes O-D sementes.

A Tabela 3, mostrada na seção 3.3.2 desta pesquisa, é a matriz O-D semente para o período do pico da manhã (7:00 às 8:00), que conta com um total de 8.533 viagens e só apresenta valores maiores que zero para 538 origens e 537 destinos, devido a que neste período há restrição de trânsito de veículos de carga em distintas zonas da RMRJ (Fernández, 2014).

5.3.

Metodologia do trabalho

Para começar e necessário considerar o foco do trabalho, que consiste em realizar a alocação do transporte de cargas na rede viária correspondente à RMRJ e por conseguinte calcular as matrizes O-D a partir da contagem de tráfego.

Para desenvolver o presente trabalho foi necessário fazer a revisão de literatura com temas referentes ao tema de pesquisa. Autores como Willumsen (2011), Nielsen (1998), Abrahamsson (1998), entre outros, foram importantes para ter o suficiente conhecimento e determinar quais dos métodos é o mais apropriado para seu desenvolvimento. Neste processo foi determinante também o uso do *software* TransCAD 4.5 para realizar o experimento de estimar as matrizes O-D.

Saber especificamente em que ponto vai o modelo PDTU parte cargas, neste caso o trabalho de Fernández (2014) foi o primeiro em ser desenvolvido, razão que levou a continuar com o processo de estimação para o cordão rodoviário interno nos horários do pico da manhã e pico da tarde. Tanto do PDTU (2013) e do trabalho de Fernández foram extraídos os dados para realizar a estimação.

Seguidamente no TransCAD 4.5 as viagens dos caminhões são alocadas na rede livre de congestionamento, ou seja, que não tem presença de automóveis, taxis

nem ônibus; porque o transporte de carga tem que ser pré-alocado na rede. Para isso devem-se considerar os três passos definidos na metodologia da seção 4.2.1 e seguir as observações:

- Para o caso da pesquisa foi preciso das matrizes O-D do Modelo de Geração de Fernandez (2014), estas matrizes são ajustadas aplicando o método de fator de crescimento. Desta maneira, a estrutura matricial replica onde se produzem e atraem as viagens de veículos de carga.

- Inseridos os *inputs* na rede, segue a formação da rede exclusiva de transporte de carga para cada um dos períodos de modelagem, onde se aplicam as restrições de circulação de veículos de carga. Isto tem como resultado não atrair ou produzir viagens nesses horários em várias zonas do centro da cidade.

- O passo seguinte é a alocação de tráfego dos veículos de carga, usando o método tudo ou nada, devido a que a rede viária não se encontra totalmente calibrada. Neste ponto, os veículos de carga são alocados na rede e o volume dos fluxos em cada um dos *links* é reproduzido.

- Finalmente, as matrizes O-D são estimadas com a técnica do TransCAD 4.5 denominada “*O-D Matrix Estimation (ODME)*”, reproduzindo assim as contagens nos 730 centros da RMRJ e por conseguinte pode ser feita a etapa do processo de calibração do modelo.

- O TransCAD, como outros softwares, conta com a opção “*Screenline Analysis*”, procedimento que consegue a comparação de resultados entre a alocação e a contagem de tráfego, além de definir um indicador que determina o grau de conformidade entre os dois métodos para cada um dos *screenlines*.

Finalmente, os resultados são obtidos para ser analisados com as ferramentas fornecidas pelo *software* TransCAD 4.5 e o Excel 2013.

5.4.

Resultados e análises

A seguir, se apresentam os resultados obtidos para o período do pico da manhã, para os quais se faz o análises para os *screenlines* que contenham fluxos positivos na sua somatória, ou seja, fluxos não nulos, isso devido a que se encontrou nos resultados que muitos dos fluxos modelados naqueles *screenlines* não fazem

uso do caminho mínimo através do método SPME, o qual não são tidos em conta para o análises do modelo.

Na Tabela 11, pode-se observar os resultados obtidos para os *screenlines*. Nestes se exibem para cada um deles os totais dos fluxos observados e modelados, onde só para o caso do *screenline* 1 tem-se dos valores próximos 530 e 501,24 o que representa uma diferença de -28,76 caminhões. Os dados em conjunto para este *screenline* mostram que a relação entre eles é grande, porque tem um ajuste de 97% e o indicador GEH de 1,3, valor muito menor do que 5, que representa uma boa correspondência entre o modelo e a contagem de tráfego.

Tabela 11 – Resultados dos *screenlines* para o pico da manhã.

<i>Screenlines</i>	Observado	Modelado	Diferença	Relação	GEH	Coefficiente de Correlação
<i>Screenline</i> 1	530	501,24	-28,76	0,95	1,3	0,97
<i>Screenline</i> 2	23	26,05	3,05	1,13	0,6	0,95
<i>Screenline</i> 3	225	24,61	-200,39	0,11	17,9	0,54
<i>Screenline</i> 4	180	15,97	-164,03	0,09	16,6	-0,63
<i>Screenline</i> 5	1.940	1.075,10	-864,90	0,55	22,3	0,89
<i>Screenline</i> 6	107	59,71	-47,29	0,56	5,2	1,00
<i>Screenline</i> 9	419	156,97	-262,03	0,37	15,4	-0,20
<i>Screenline</i> 17	0	1,20	1,20		1,5	

Para o caso do *screenline* 4, pode-se observar que o GEH_4 é de 16,6 sendo um valor muito alto, o qual não logra ter uma correspondência aceitável entre o fluxo modelado e observado. Além disso, seu coeficiente de correlação é negativo - 0,63%, o que significa que as duas variáveis se estão relacionando em sentido inverso mas com uma relação baixa entre elas.

Infer-se por meio da relação entre os dados modelados e observados, que a contagem de tráfego observadas sempre é maior do que os modelados, exceto no *screenline* 2, onde se tem uma relação maior a 1. Além disso, existe também uma relação entre os valores obtidos do GEH e o Coeficiente de Correlação, porque para cada *screenline* se conclui que a menor GEH (inferior a 5) o coeficiente de correlação é maior, por exemplo o *screenline* 1.

A Figura 28, deixa ver como o conjunto de valores se relacionam no modelo deixando em evidência alguns valores apartados da linha de tendência, mas com o Coeficiente de Correlação de 82% se vê reflexado que o conjunto dos valores tem uma boa relação.

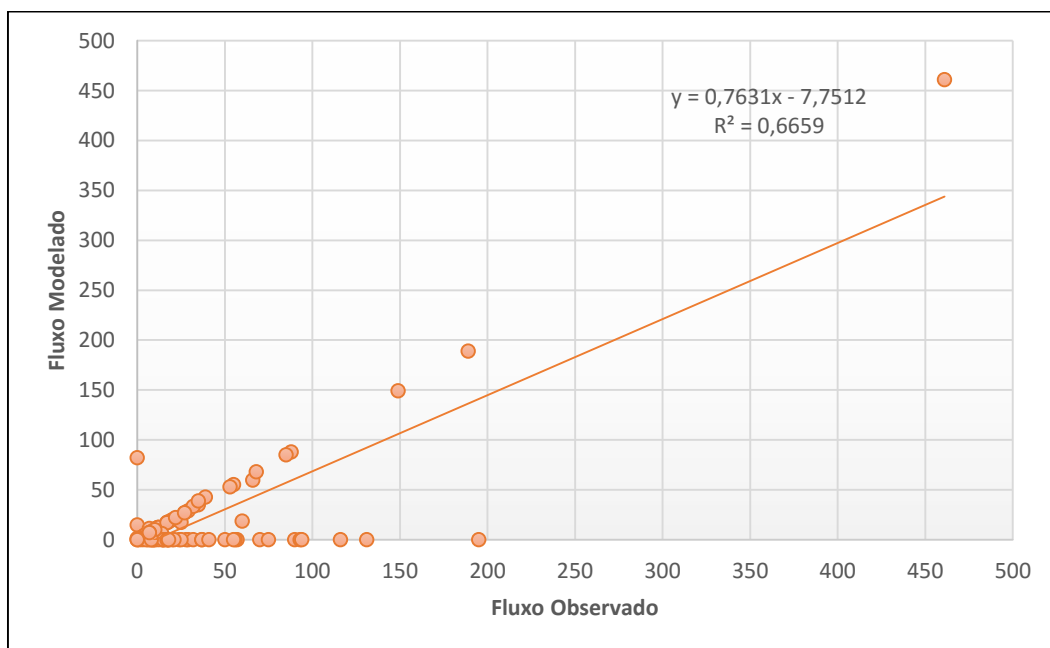
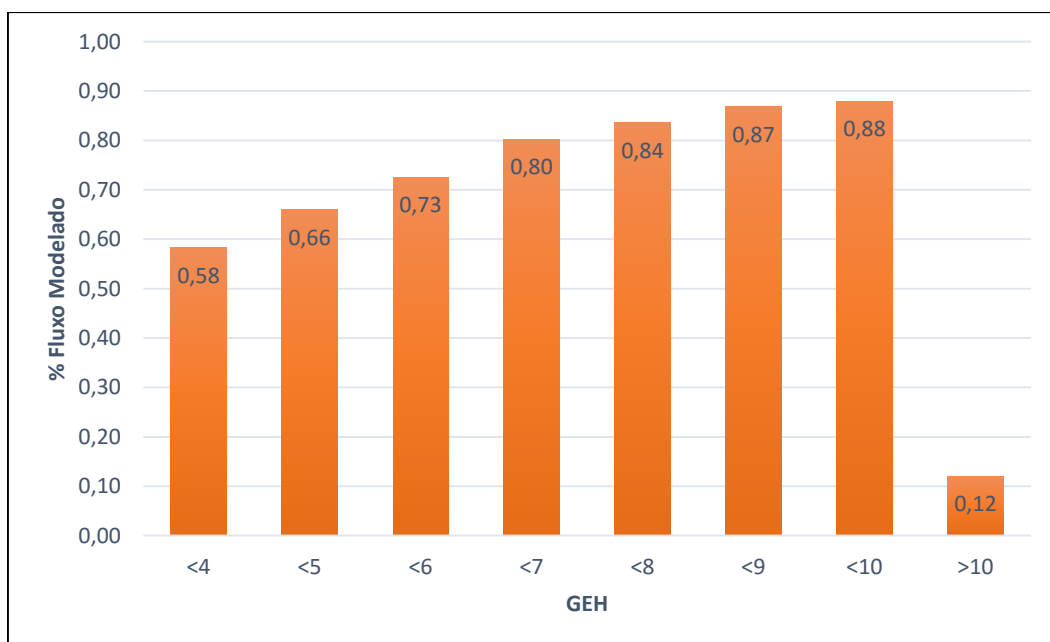


Figura 28 – Fluxo observado x Fluxo modelado para o período do pico da manhã.

Na Tabela 12 e na Figura 29, apresenta-se as frequências para cada um dos valores de GEH do modelo, onde pode-se observar que 66% dos dados têm um valor GEH menor a 5 e um 22% para os valores GEH entre 5 e 10 dos dados totais, os restantes tem um GEH superior a 10 sendo estes 12%. Dessa forma, o modelo não consegue chegar a 85% para os $GEH < 5$ nem a 15% dos GEH entre 5 e 10, condições estabelecidas pela *Highways Agency* no *Design Manual for Roads and Bridges*, que apontam que existe uma probabilidade de erro, seja no modelo ou nos dados de entrada, já que o manual considera que um modelo com um bom comportamento deve ter as condiciones acima referidas.

Tabela 12 – Frequências do GEH para os *screenlines* pico da manhã

GEH	Frequência acumulada	F. relativa acumulada
<4	53	0,58
<5	60	0,66
<6	66	0,73
<7	73	0,80
<8	76	0,84
<9	79	0,87
<10	80	0,88
>10	11	0,12
	91	

Figura 29 – GEH dos *screenlines* para o período do pico da manhã.

Como resultado da matriz se teve um total de 8.107,21 viagens para o horário das 7:00 às 8:00 da manhã tendo uma diferença de 447,0442 viagens com relação a matriz semente (Tabela 3), sendo o município de Rio de Janeiro com a maior quantidade de viagens com relação aos outros municípios, é seguido de Duque de Caixas e Niterói (Tabela 13).

O fluxo do transporte de carga para a RMRJ pode ser observado na Figura 30, onde se vê que o maior fluxo de caminhões se concentra no município do Rio

de Janeiro especialmente na Lagoa, Copacabana, Botafogo, Zona Portuária, São Cristóvão, Penha, Madureira. Nesta Figura 30, pode-se ver os centróides (em cor vermelho), conectores (em cor roxo), a rede de transporte de carga (em cor azul) e o fluxo de veículos de carga (linhas azul com preto).

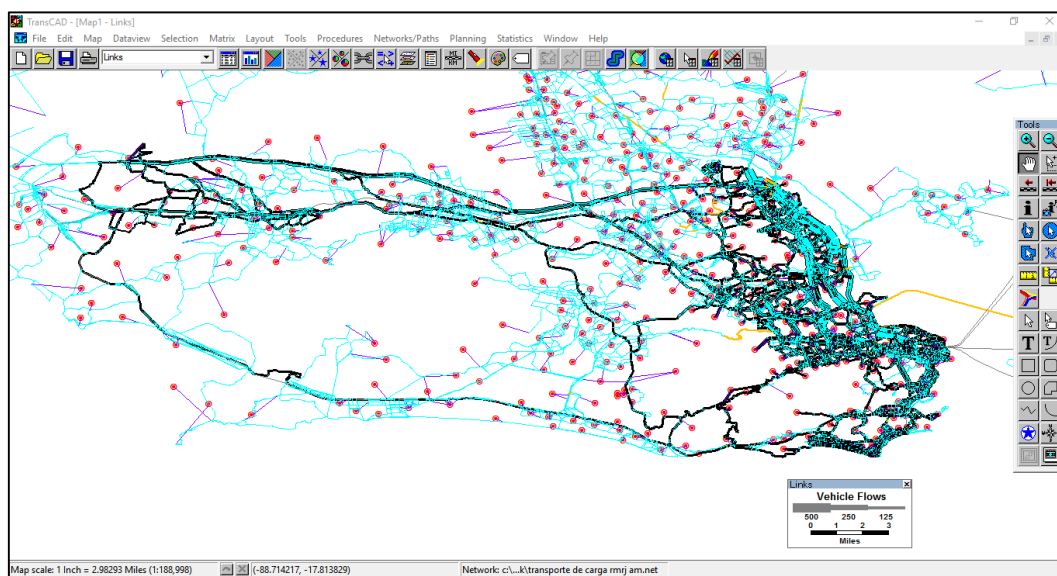


Figura 30 – Fluxo de transporte de carga para a RMRJ no período do pico da manhã

Tabela 13 – Matriz O-D de transporte de carga por município para o período do pico da manhã

MUNICÍPIO ORIGEM	MUNICÍPIO DESTINO																				TOTAL GERAL
	Belford Roxo	Duque de Caixas	Guapimirim	Itaboraí	Itaguaí	Japerí	Magé	Mangaratiba	Maricá	Mesquita	Nilópolis	Niterói	Nova Iguaçu	Paracambi	Queimados	Rio de Janeiro	São Gonçalo	São João de Meriti	Seropedica	Tanguá	
Belford Roxo	3,97	29,73	1,4	1,09	3,09	1,83	5,62	0,87	0,19	2,37	8,02	8,82	18,44	1,37	2,08	55,45	4,47	4,62	0,98	0,08	154,49
Duque de Caixas	29,72	162,39	8,15	6,19	18,12	10,86	33,02	5,09	1,33	14,02	46,76	51,46	108,43	8	12,16	327	32,88	35,84	15,02	1,14	927,54
Guapimirim	0,85	4,94	0,04	0,16	0,5	0,3	0,94	0,14	0,04	0,38	1,34	1,45	3,14	0,23	0,33	12,81	0,91	1,03	0,46	0,03	30,02
Itaboraí	3,3	19,36	0,91	0,3	1,99	1,19	3,68	0,53	0,17	5,67	8,41	17,9	12,22	0,89	1,18	50,36	3,45	3,98	1,79	0,12	137,4
Itaguaí	2,7	15,71	0,74	0,54	1,19	0,95	2,99	0,43	0,1	7,48	9,88	25,91	9,76	0,72	0,76	46,94	2,86	3,35	1,44	0,11	134,56
Japerí	2,87	16,98	0,8	0,62	1,77	0,6	3,2	0,5	0,12	1,34	3,8	5,03	10,55	0,77	0,79	51,11	3,09	3,61	1,57	0,12	109,24
Magé	3,48	20,46	0,96	0,75	2,1	1,25	2,57	0,59	0,16	9,8	30,12	31,19	12,83	0,93	1,28	91,81	4,06	4,31	1,89	0,14	220,68
Mangaratiba	0,69	4,24	0,18	0,12	0,43	0,24	0,76	0,08	0,01	7,56	18,24	19,85	2,62	0,19	0,18	12,82	0,72	0,92	0,37	0,03	70,25
Maricá	0,23	1,37	0,05	0,05	0,14	0,07	0,3	0,05	0,5	0,29	0,23	0,34	0,9	0,05	1,13	45,49	1,37	0,26	0,12	0,01	52,95
Mesquita	1,4	8,35	0,39	2,58	6,32	0,49	13,49	2,3	0,15	15,74	27,59	22,14	5,28	0,39	0,38	186	4,54	7,3	4,43	0,34	309,58
Nilópolis	8,38	48,83	2,27	4,69	14,97	2,64	70,43	5,53	0,23	32,89	1,47	18,3	30,4	2,25	1,23	223,1	13,57	18,22	9,65	0,76	509,83
Niterói	7,29	42,93	1,95	5,71	18,52	2,55	24,06	1,63	0,21	45,64	9,45	10,96	26,99	1,98	2,83	289,9	7,46	8,8	3,79	0,28	512,93
Nova Iguaçu	7,09	41,1	1,93	1,4	4,22	2,55	7,85	1,16	0,31	3,18	10,99	12,03	20,36	1,88	2,85	96,84	12,62	6	0,89	0,05	235,3
Paracambi	2,73	15,9	0,75	0,58	1,64	0,98	3,03	0,47	0,12	1,29	4,29	4,78	9,93	0,25	1,1	37,34	2,19	2,32	0,37	0,03	90,09
Queimados	1,06	6,12	0,29	0,16	0,36	0,23	1,17	0,09	0,61	0,3	0,4	1,46	3,76	0,28	0,29	18,71	0,85	0,75	0	0	36,89
Rio de Janeiro	61,74	370,81	22,03	16,75	53,99	32,45	146,19	58,66	45,35	200,19	183	427,1	257,54	18,9	36,76	1592	81,14	72,97	16,44	1,26	3694,9
São Gonçalo	7,06	50,41	2,52	1,73	5,69	3,42	11,68	1,62	2,28	5,86	12,29	15,53	28,77	1,74	2,63	122,2	8,21	10,49	3,85	0,3	298,32
São João de Meriti	9,56	68	3,55	2,7	7,88	4,69	14,28	2,23	0,59	8,62	16,07	22,28	32,14	2,45	3,34	139,6	13,04	14,31	7,02	0,56	372,92
Seropedica	1,47	20,72	1,33	1,04	2,89	1,73	5,3	0,81	0,22	3,59	5,18	8,02	2,84	0,31	0,01	22	3,8	5,91	0,71	0,2	88,08
Tanguá	0,22	3,16	0,2	0,15	0,45	0,26	0,8	0,13	0,02	0,54	0,78	1,21	0,41	0,04	0	3,95	0,58	0,91	0,39	0	14,2
TOTAL GERAL	155,81	951,51	50,44	47,31	146,26	69,28	351,36	82,91	52,71	366,75	398,31	705,76	597,31	43,62	71,31	3425	201,8	205,9	71,18	5,56	8107,2

Quanto se refere aos resultados obtidos para o período do pico da tarde, também se faz o análises para os *screenlines* que contenham fluxos positivos na sua somatória, da mesma maneira que foi realizada para o período do pico da manhã.

Na Tabela 14, pode-se ver o resultado final para cada um dos *screenlines* tanto no fluxo observado e no fluxo modelado, com o objetivo de interpretar o indicador GEH e seu Coeficiente de Correlação. Nesta Tabela 14, os *screenlines* 1, 2, 6 e 17 têm uma boa correspondência entre eles, porque o GEH é inferior a 5 e o Coeficiente de Correlação está entre 91% e 100%. Porém, os *screenlines* 3, 4 e 9 tem valores muito elevados no seu GEH e seu Coeficiente de Correlação está por abaixo do 95%, o que significa que não possuem um bom ajuste. Mas o *screenline* 5 têm um comportamento diferenciado dos demais resultados, o $GEH_5=19,6$ e $R_5=95\%$, este indica que, ainda tendo uma boa relação entre os fluxo observados e fluxos modelados devido a sua adjacência, a correspondência em conjunto não favorece ao modelo.

Tabela 14 – Resultados dos *screenlines* para o pico da tarde.

<i>Screenlines</i>	Observado	Modelado	Diferença	Relação	GEH	Coeficiente de Correlação
<i>Screenline 1</i>	631	537	-93,86	0,85	3,9	0,91
<i>Screenline 2</i>	37	54	16,97	1,46	2,5	0,98
<i>Screenline 3</i>	347	16	-331,38	0,05	24,6	0,60
<i>Screenline 4</i>	204	18	-186,01	0,09	17,7	-0,54
<i>Screenline 5</i>	2.081	1.276	-804,74	0,61	19,6	0,95
<i>Screenline 6</i>	99	63	-35,74	0,64	4,0	1,00
<i>Screenline 9</i>	439	227	-212,47	0,52	11,6	0,38
<i>Screenline 17</i>	3	1	-2,35	0,22	1,7	1,00

A Figura 31, indica que o conjunto de dados estão relacionados porque o Coeficiente de Correlação é de 90%. Além disso, observa-se que os valores com respeito a linha de tendência têm um diferencia mínima.

Por enquanto, aos dois períodos de tempo pico da manhã e pico da tarde, têm uma diferencia porcentual um com respeito ao outro de 8%.

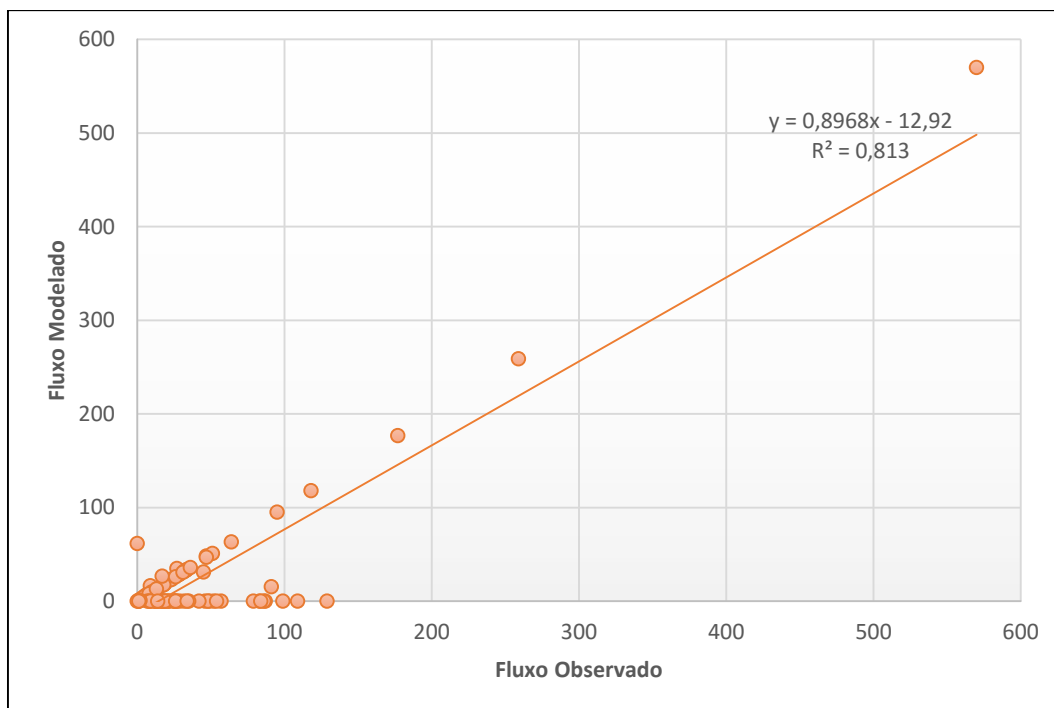


Figura 31 – Fluxo observado x Fluxo modelado para o período do pico da tarde

Na Tabela 15 e na Figura 32, apresenta-se as frequências para cada um dos valores de GEH do modelo, onde pode-se observar que 60% dos dados têm um valor GEH menor a 5 e um 27% para os valores GEH entre 5 e 10 dos dados totais, os restantes tem um GEH superior a 10 sendo estes 13%. Dessa forma, o modelo também não consegue chegar a 85% para os $GEH < 5$ nem a 15% dos GEH entre 5 e 10, condições estabelecidas pelo *Design Manual for Roads and Bridges*.

Tabela 15 – Frequências do GEH para os *screenlines* pico da tarde.

GEH	Frequência acumulada	F. relativa acumulada
<4	52	0,55
<5	57	0,60
<6	64	0,67
<7	70	0,74
<8	76	0,80
<9	79	0,83
<10	83	0,87
>10	12	0,13
	95	

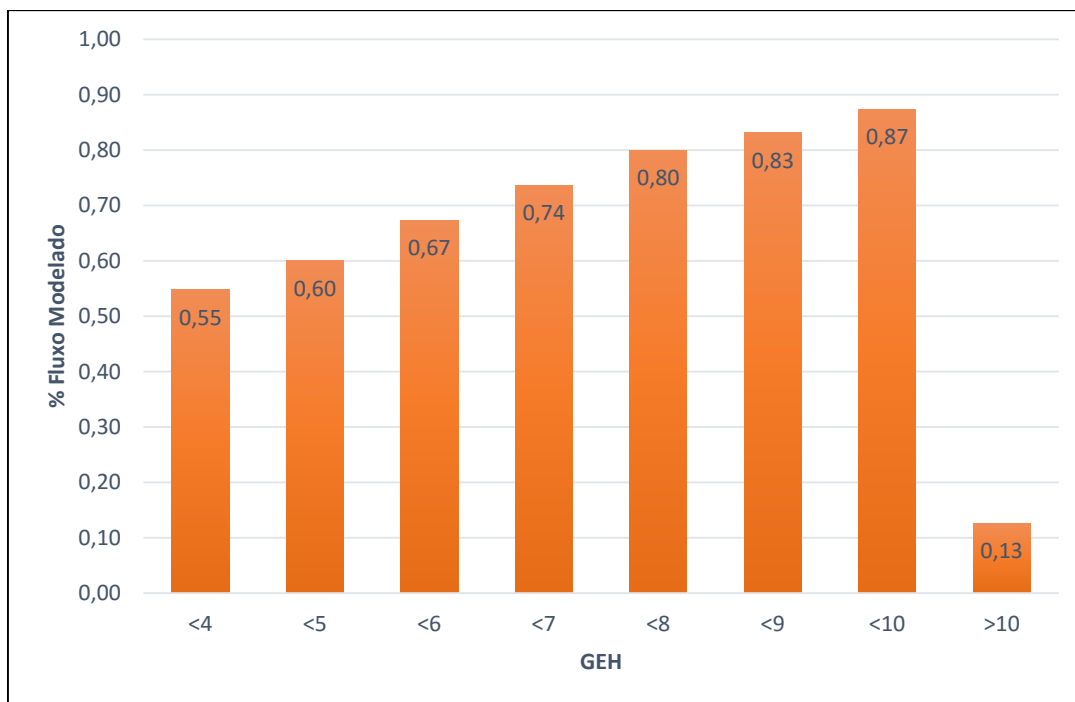


Figura 32 – GEH dos *screenlines* para o período do pico da tarde

Como resultado para o período do pico da tarde a matriz teve um total de 9.250,72 viagens para o horário das 17:30 às 18:30, tendo uma diferença de 60,78 viagens, sendo também o município de Rio de Janeiro com a maior quantidade de viagens com relação aos demais municípios é seguido de Duque de Caixas e enquanto ao terceiro com maior fluxo originado é São João de Meriti e com o maior fluxo destinado é Nova Iguaçu (Tabela 16).

O fluxo do transporte de carga para a RMRJ pode ser observado na Figura 33, onde se vê que o maior fluxo de caminhões se concentra no município do Rio de Janeiro especialmente na Lagoa, Copacabana, Botafogo, Centro, Zona Portuária, São Cristóvão, Penha, Madureira.

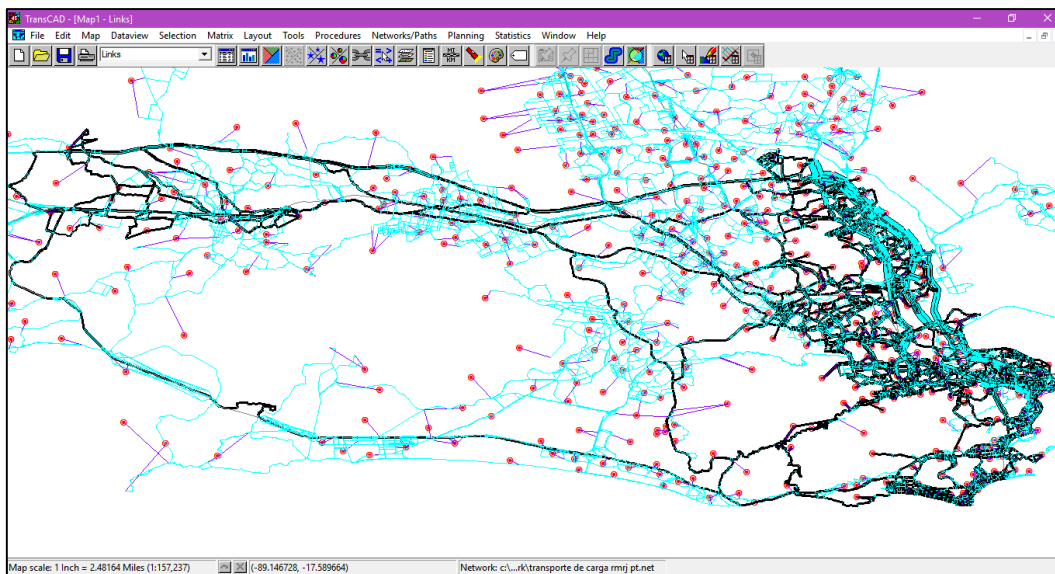


Figura 33 – Fluxo de transporte de carga para a RMRJ no período do pico da tarde

Tabela 16 – Matriz O-D de transporte de carga por município para o período do pico da tarde.

MUNICIPIO ORIGEM	MUNICIPIO DESTINO																				TOTAL GERAL
	Belford Roxo	Duque de Caxas	Guapimirim	Itaboraí	Itaguaí	Japeri	Magé	Mangaratiba	Maricá	Mesquita	Nilópolis	Niterói	Nova Iguaçu	Paracambi	Queimados	Rio de Janeiro	São Gonçalo	São João de Meriti	Seropedica	Tanguá	
Belford Roxo	4,35	30,43	1,72	0,52	3,36	1,61	6,88	1,04	2,62	2,34	2,33	5,08	15,7	1,31	1,77	112,81	5,35	6,37	2,99	0,1	208,68
Duque de Caxas	38,35	270	15,29	5,43	29,88	14,38	61,06	9,16	23,7	20,89	20,74	46,01	139,39	11,54	15,73	1002,38	47,59	56,77	26,51	0,98	1855,78
Guapimirim	0,53	3,76	0,22	0,06	0,41	0,2	0,84	0,13	0,31	0,27	0,27	0,59	1,95	0,15	0,21	13,55	0,61	0,77	0,38	0,01	25,22
Itaboraí	1,91	13,75	0,79	0,22	1,5	0,7	3,11	0,45	1,16	0,95	0,98	2,15	7,12	0,57	0,75	49,29	2,23	2,82	1,35	0,04	91,84
Itaguaí	2,03	14,37	0,8	0,23	1,57	0,77	3,24	0,49	1,24	1,06	1,06	2,24	7,43	0,6	0,84	52,81	2,43	3	1,39	0,04	97,64
Japeri	2,7	19,08	1,07	0,34	2,12	1	4,3	0,66	1,64	1,48	1,45	3,23	9,87	0,83	1,12	70,67	3,32	4,03	1,84	0,07	130,82
Magé	2,17	15,2	0,85	0,28	1,68	0,78	3,41	0,5	1,32	1,11	1,13	2,47	7,86	0,65	0,84	55,86	2,59	3,15	1,49	0,05	103,39
Mangaratiba	0,6	4,14	0,23	0,06	0,46	0,19	0,92	0,14	0,34	0,25	0,27	0,58	2,06	0,18	0,22	14,92	0,67	0,86	0,4	0,01	27,5
Maricá	3,15	22,27	1,24	0,44	2,48	1,18	5,05	0,76	1,96	1,66	1,67	3,71	11,53	0,95	1,28	82,26	3,86	4,67	2,19	0,08	152,39
Mesquita	1,84	13,21	0,68	0,16	1,43	0,65	2,96	0,42	1,07	0,86	0,89	1,82	6,83	0,55	0,73	47,38	2,14	2,72	1,25	0,02	87,61
Nilópolis	2,98	20,94	1,13	0,32	2,32	1,11	4,72	0,69	1,8	1,51	1,53	3,22	10,92	0,89	1,22	77,64	3,65	4,37	2,02	0,06	143,04
Niterói	5,27	37,58	2,07	0,55	4,05	1,91	8,52	1,14	3,22	2,47	2,5	5,39	19,5	1,58	1,95	135,19	5,77	7,75	3,71	0,08	250,2
Nova Iguaçu	7,85	55,38	3,11	1,08	6,15	2,88	12,56	1,84	4,86	4,12	4,14	9,1	28,58	2,39	3,13	205,2	9,52	11,7	5,46	0,19	379,24
Paracambi	2,58	18,08	1,02	0,39	2	0,96	4,1	0,62	1,61	1,39	1,41	3,09	9,36	0,77	1,05	67,06	3,18	3,81	1,77	0,06	124,31
Queimados	1,29	9,06	0,48	0,15	0,97	0,45	2,04	0,27	0,79	0,59	0,63	1,31	4,74	0,39	0,47	33,42	1,51	1,93	0,87	0,01	61,37
Rio de Janeiro	93,69	657,52	36,61	11,39	72,34	34,61	148,1	22,11	56,7	49,11	49,05	106,78	339,37	27,93	38,04	2430,07	113,63	138,52	64,19	2,27	4492,03
São Gonçalo	5,33	37,66	2,04	0,58	4,05	1,93	8,46	1,23	3,19	2,64	2,63	5,61	19,44	1,6	2,12	137,64	6,2	7,87	3,69	0,09	254
São João de Meriti	10,86	76,14	4,31	1,48	8,42	4,07	17,18	2,62	6,72	5,88	5,89	13,03	39,31	3,22	4,4	282,86	13,46	16,07	7,47	0,27	523,66
Seropedica	2,11	14,8	0,84	0,29	1,64	0,78	3,35	0,48	1,3	1,12	1,11	2,49	7,69	0,64	0,84	54,9	2,53	3,12	1,44	0,05	101,52
Tanguá	0,42	3,04	0,17	0,05	0,32	0,14	0,67	0,1	0,24	0,23	0,23	0,47	1,54	0,13	0,17	11,01	0,51	0,63	0,3	0,01	20,38
TOTAL GERAL	190,01	1336,41	74,67	24,02	147,15	70,30	301,47	44,85	115,79	99,93	99,91	218,37	690,19	56,87	76,88	4936,92	230,75	280,93	130,71	4,49	9250,72

6.

Conclusões

O *software* TransCAD é um Sistema de Informação Geográfica (SIG) fundamental para o planejamento da rede de transportes, execução, e análise das matrizes O-D do transporte de carga na RMRJ. A implementação do *software* TransCAD na versão 4.5 foi importante na pesquisa porque comprova que existem métodos matemáticos, que permitem a solução da pesquisa com a estimação de matrizes O-D a partir de contagem de tráfego.

A traves da revisão da literatura pesquisada para o caso de estimação de matrizes O-D a partir de contagem de tráfego, o transporte de carga urbana logrou ampliar os conceitos e conhecimentos técnicos necessários para o planejamento, análise e desenvolvimento do trabalho.

O estudo de caso da estimação de matrizes O-D a partir da contagem de tráfego na RMRJ foi definida com critérios quantitativos (rede de transportes, contagens de tráfego para cada período de tempo e matrizes sementes) para simulação dos dados no *software*. Com o levantamento dos dados iniciais permitiu ter as contagens para o período do pico da manhã e pico da tarde, a rede de transporte exclusivamente para cargas e as matrizes sementes. Para o caso das matrizes sementes foi preciso replicá-las como o uso de TransCAD 4.5 utilizando o método de *Furness*.

A pesquisa implementou o método SPME para gerar as matrizes O-D de transporte de carga para a RMRJ, este foi o método mais apropriado, porque é o método de caminho único que maneja a incerteza e a inconsistência que existem nas contagens de tráfego, além disso permite o uso do método tudo o nada, devido a que o fluxo na rede é considerado de livre congestionamento, sendo que a rede de transporte cargas esta pré-carregada (sem fluxos de ônibus nem automóveis), devido à decorrente dificuldade de fazer a alocação completa de todos os veículos.

No processo de aplicação do SPME as matrizes finais são coerentes com a solução para cada da matriz O-D estimada, devido a que sua diferença é mínima respeito à matriz semente e segundo o método, se tiver inconsistência na contagem, isto não afeta gravemente os resultados da estimação.

No entanto, identificaram-se limitações que diminuem a qualidade e objetividade dos resultados. A falta de informação respeito as contagens de tráfego, faz que o resultado da pesquisa esteja reduzida, gerando inconsistência para reproduzir a condição real do tráfego, para o qual foi necessário reduzir a abrangência da pesquisa ajustando aqueles dados.

Do ponto de vista quantitativo, foi feito dois tipos de análises. No primeiro se evidenciou que os *screenlines* com o fluxo maior a zero nos períodos de tempo analisados, apresentaram uma correlação positiva entre os fluxos modelados e os fluxos observados, sendo estes aceitáveis com porcentagens de 82% para o período do pico da manhã e 90% para o período do pico da tarde.

No segundo análise, os fluxos foram avaliados através do indicador GEH que permite saber se a correspondência dos fluxos modelados e observados são bons, aceitáveis o não. O resultado mostrou que menos do 85% dos volumes de tráfego tanto no período do pico da manhã e pico da tarde têm o indicador por abaixo de 5, sendo 66% e 60% respectivamente. Mas os volumes de tráfego para os períodos de tempo são maiores a 15% para os valores entre 5 e 10, correspondentes a 22% para o pico da manhã e 27% para o pico da tarde.

Estas informações obtidas através do *software* TransCAD permitiram que nos próximos estudos futuros possam fazer uso do método, melhorando assim os resultados gerados pelo *software*.

Como pesquisas futuras, seria conveniente a estimação de matrizes O-D com aplicação de diferentes métodos solução, além de incluir congestionamento e expandir o método para o cordão externo.

Finalmente, esta pesquisa aporta uma metodologia que permite identificar os principais aspectos para o desenvolvimento da estimação de matrizes O-D com contagem de tráfego, limitações e análises para o conjunto de dados.

7.

Referências Bibliográficas

ABRAHAMSSON, T. **Estimation of origin-destination matrices using traffic counts- a literature survey**. Working papers, International Institute for Applied Systems Analysis, 1998.

BELL, M. G. H. **The estimation of origin-destination matrices by constrained generalised least squares**. Transportation Research Part B: Methodological, 25(1):13 – 22, 1991.

CASCETTA, E. **Estimation of trip matrices from traffic counts and survey data: A generalized least squares estimator**. Transportation Research Part B: Methodological, 18(4-5):289–299, 1984.

CASCETTA, E.; NGUYEN, S. **A unified framework for estimating or updating origin/destination matrices from traffic counts**. Transportation Research, 22B, 1988.

CHEN, Y. **Bilivel programming problems; analysis, algorithms and applications**, PhD thesis, report CRT-984, Centre de recherche sur les transports (CRT), University of Montreal, Montreal, Quebec, Canada. 1994.

DIAL, R. B. **A probabilistic multipath traffic assignment algorithm which obviates path enumeration**. Transportation Research, 5:81 –111, 1971.

FERNANDEZ, P. ALDO ELIADES. **Estimativa de matrizes origem-destino para veículos de carga no âmbito do estudo do Plano Diretor de Transporte Urbano da Região Metropolitana de Rio de Janeiro (PDTU-RMRJ)**. 2014. 108p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção), Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro 2014.

FISK, C. S. **Trip matrix estimation from link traffic counts: The congested network case**. Transportation Research Part B: Methodological, 23(5): 331 – 336, 1989.

FISK, C. S. **On combining maximum entropy trip matrix estimation with user optimal assignment**. Transportation Research Part B: Methodological, 22(1):69 – 73, 1988.

HAZELTON, M. L. **Some comments on origin-destination matrix estimation**. Transportation Research Part A: Methodological, 37:811 – 822, 2003.

HYMAN, G.M. **The calibration of trip distribution models**. Environment and Planning 1, 105–112, 1969.

MAHER, M. J. **Inferences on trip matrices from observations on link volumes: A Bayesian statistical approach.** Transportation Research Part B: Methodological, 17(6):435 – 447, 1983.

NIELSEN, O. A. **Two new methods for estimating trip matrices from traffic counts.** Travel Behaviour Research, 221 – 250, 1998.

NGUYEN, S. **Estimating an OD matrix from network data: A network equilibrium approach,** 1977.

ORTUZAR, J. de D.; WILLUMSEN, L. G., 2011. **Modelling Transport.** JhonWiley & Sons, Chichister.

PDTU-2013. **Relatório 6. Calibração do modelo da rede de referência, versão 4.** Fevereiro de 2015.

PDTU-2013. **Relatório 12. Transporte de cargas.** Janeiro 2014.

ROBILLARD, P. **Estimating the o-d matrix from observed link volumes.** Transportation Research, 9(23):123 – 128, 1975.

SHERALI, H. D.; NARAYANAN, A.; SIVANANDAN, R. **Estimation of origin destination trip-tables based on a partial set of traffic link volumes.** Transportation Research Part B: Methodological, 37(9): 815 – 836 2003.

SHERALI, H. D.; SIVANANDAN, R.; HOBEIKA, A. G. **A linear programming approach for synthesizing origin-destination trip tables from link traffic volumes.** Transportation Research Part B: Methodological, 28(3):213 – 233, 1994.

SPIESS, H. A. **A gradient approach to the O-D matrix adjustment problem, EMME/2 support center,** Aegerten. Switzerland, 1990.

SPIESS, H. A. **Maximum-likelihood model for estimating origin-destination matrices.** Transportation Research, 21B, 1987.

TAMIN, O. Z.; WILLUMSEN, L. G. **Transport demand model estimation from traffic counts.** In: Transportation, volume 16, p. 3–26, march 1989.

THE HIGHWAYS AGENCY. **Design manual for roads and bridges – DMRB.** Volume 12. Section 2. 1996.

TRAFIC FOR LONDON – TfL. **Traffic modelling guidelines, version 3.0**. September 2010.

VAN AERDE, M.; RAKHA, H.; PARAMAHAMSAN, H. **Estimation of o-d matrices: the relationship between practical and theoretical considerations**. Transportation Research Board Annual Meeting, p. 122–130, 2003.

WARDROP, J. **Some theoretical aspects of road traffic research**. Proceedings of the Institution of Civil Engineers, Part II, 1(36):352–362, 1952.

WILLS, M. **Non linear estimation of origin-destination flows and gravity model parameters from traffic counts on links**. Department of Geography, University of British Columbia mimeographednotes, 1977.

WILLUMSEN, L.G. **Estimating time-dependent trip matrices from traffic counts**. In: Proceedings of the Ninth International Symposium on Transportation and Traffic Theory. VNU Science Press, Utrecht, the Netherlands, pp. 397–411, 1984.

WILLUMSEN, L. G. **Simplified transport models based on traffic counts**. In: Transportation, volume 10, p. 257–278, September 1981.

WILLUMSEN, L.G. **Estimation of an O–D matrix from traffic counts—a review**. Working Paper 99, Institute of Transportation Studies, University of Leeds, England, 1978.

WILSON, A.G. **Entropy in Urban Regional Modeling**. Pion Limited, London, 1970.

XIE, C.; KOCKELMAN, K. M.; FELLOW, W. J. M. J.; WALLER, S. T.; PROFESSOR, A.; FELLOW, C. E. L. **A maximum entropy method for subnetwork origin-destination trip matrix estimation**, 2010.

YANG, H. **Heuristic algorithms for the bilevel origin-destination matrix estimation problem**. Transportation Research Part B: Methodological, 29(4):231 – 242, 1995.

YANG, H.; Sasaki, T.; Iida, Y.; Asakura, Y. **Estimation of origindestination matrices from link traffic counts on congested networks**. Transportation Research Part B: Methodological, 26(6):417 – 434, 1992.

ZUYLEN, H. J. V.; WILLUMSEN, L. G. **The most likely trip matrix estimated from traffic counts**. Transportation Research Part B: Methodological, 14(3):281 – 293, 1980.

8.

Anexos

Tabela 8.1 – Lista de contagens de tráfego para o período AM e PM.

<i>Screenline</i>	<i>A - B Node</i>	Observados AM	Observados PM
1	171129-171045	5	9
1	171116-171152	11	5
1	183740-183758	29	28
1	183845-183766	11	29
1	183771-183766	17	9
1	183753-183758	12	7
1	183790-183805	2	3
1	183762-183786	12	12
1	183784-183775	12	18
1	183784-183824	3	6
1	183963-183976	35	18
1	183971-183978	3	1
1	184013-183968	12	24
1	183998-183943	20	13
1	183759-183770	9	19
1	183769-183781	15	26
1	183804-183795	27	33
1	183814-183813	18	18
1	183791-183782	7	1
1	183869-183918	55	29
1	183916-183756	88	95
1	171046-170999	25	45
1	170961-171039	0	5
1	171033-171008	39	27
1	171035-171059	9	27
1	170941-170900	1	12
1	170620-170636	6	14
1	170606-170620	9	34
1	170352-170368	3	1
1	170368-170352	17	5
1	183674-183666	4	23
1	183666-183675	5	17
1	183674-183675	9	18
2	170079-170087	5	6
2	170087-170079	1	5

2	170001-170005	8	17
2	170002-170001	7	9
2	170003-170004	2	0
3	190979-190980	57	25
3	190991-190990	14	17
3	191000-191001	15	83
3	191021-191023	29	52
3	191023-191036	28	13
3	191039-191024	8	57
3	190112-190138	60	9
3	190138-190112	14	91
4	191349-191379	70	99
4	191379-191349	56	49
4	191752-182470	18	17
4	182469-191751	20	21
4	182281-182224	7	10
4	182269-182281	9	8
5	181604-181745	461	570
5	181616-181825	195	129
5	181827-181614	149	177
5	181737-181701	189	259
5	181341-181573	32	22
5	181573-181341	22	32
5	181169-181286	50	46
5	181286-181169	17	29
5	181169-181201	10	12
5	181201-181169	5	7
5	181261-181145	18	12
5	181152-181257	32	33
5	181179-181073	10	18
5	181073-181179	12	16
5	181207-181219	55	25
5	181061-181027	9	13
5	180968-181063	15	20
5	180928-180883	37	19
5	180883-180928	24	32
5	180830-180883	17	8
5	180718-180708	25	26
5	180703-180773	116	48
5	180685-180675	90	109
5	180675-180685	75	87
5	180598-180543	10	13
5	180543-180598	27	26
5	180461-180445	35	47
5	180438-180476	21	42
5	181630-181602	53	31

5	181602-181630	7	36
5	181640-181629	37	86
5	181629-181640	85	51
6	201623-201644	66	64
6	201663-201619	41	35
7	230030-230023	83	143
7	230023-230030	122	71
8	20372-20379	418	823
8	20382-20378	425	543
8	180045-180046	40	12
8	180046-180044	28	23
8	220237-220216	0	0
8	180293-180289	33	26
9	183179-183237	0	0
9	183179-183285	0	34
9	183280-183169	8	9
9	183186-183169	7	47
9	183072-182987	68	118
9	182939-183073	131	79
9	183331-183257	93	84
9	183272-183314	94	54
9	183308-183323	18	14
11	220034-10096	281	260
11	220195-220244	274	246
11	100148-220025	214	379
11	220172-10203	52	25
11	10203-220172	33	16
11	20190-20183	63	20
11	20183-20187	62	67
11	20476-20455	101	224
11	20494-20455	365	574
11	20464-20483	325	173
11	20460-20463	57	49
11	100115-100109	27	30
11	100109-100115	19	28
13	90135-90130	63	59
13	90130-90135	70	53
13	120868-120867	11	37
13	120867-120868	25	12
13	210527-210589	123	115
13	210589-210527	149	81
14	210413-120866	43	162
14	120866-210413	84	125
14	210257-210222	8	12
14	210222-210257	4	6
15	120730-120724	31	47

15	120724-120726	20	32
15	120730-120727	82	63
15	120676-120714	42	48
15	120714-120676	66	49
15	120553-120545	8	15
15	120531-120541	11	21
16	120211-120157	8	58
16	183640-120157	139	98
17	191428-181430	0	2
17	181420-181158	0	1

Tabela 8.2 – Fluxos observados e modelados para o período AM.

Screenline	Caminhões Observados	Caminhões Modelados	Diferença	Relação	GEH	Coefficiente de Correlação
1	5	5,0172	0,017	1,00	0,008	0,9683
1	11	11,4412	0,441	1,04	0,132	
1	29	28,9972	-0,003	1,00	0,001	
1	11	11,0000	0,000	1,00	0,000	
1	17	17,2203	0,220	1,01	0,053	
1	12	12,0000	0,000	1,00	0,000	
1	2	2,1052	0,105	1,05	0,073	
1	12	12,0064	0,006	1,00	0,002	
1	12	12,0220	0,022	1,00	0,006	
1	3	3,2400	0,240	1,08	0,136	
1	35	35,0000	0,000	1,00	0,000	
1	3	0,0000	-3,000	0,00	2,449	
1	12	12,0000	0,000	1,00	0,000	
1	20	20,0000	0,000	1,00	0,000	
1	9	8,9990	-0,001	1,00	0,000	
1	15	0,0000	-15,000	0,00	5,477	
1	27	26,7954	-0,205	0,99	0,039	
1	18	17,9824	-0,018	1,00	0,004	
1	7	0,0000	-7,000	0,00	3,742	
1	55	55,0003	0,000	1,00	0,000	
1	88	87,8564	-0,144	1,00	0,015	
1	25	17,2903	-7,710	0,69	1,677	
1	0	14,8287	14,829	#DIV/0!		
1	39	42,7477	3,748	1,10	0,586	
1	9	0,0000	-9,000	0,00	4,243	
1	1	0,9998	0,000	1,00	0,000	
1	6	0,0000	-6,000	0,00	3,464	
1	9	8,9509	-0,049	0,99	0,016	
1	3	2,9816	-0,018	0,99	0,011	

1	17	16,9824	-0,018	1,00	0,004	
1	4	3,9999	0,000	1,00	0,000	
1	5	4,9862	-0,014	1,00	0,006	
1	9	8,7895	-0,211	0,98	0,071	
2	5	5,0008	0,001	1,00	0,000	
2	1	0,0000	-1,000	0,00	1,414	0,9509
2	8	8,7949	0,795	1,10	0,274	
2	7	11,2497	4,250	1,61	1,407	
2	2	1,0027	-0,997	0,50	0,814	
3	57	0,0000	-57,000	0,00	10,677	
3	14	0,0000	-14,000	0,00	5,292	0,5445
3	15	0,0000	-15,000	0,00	5,477	
3	29	0,0000	-29,000	0,00	7,616	
3	28	0,0000	-28,000	0,00	7,483	
3	8	0,0000	-8,000	0,00	4,000	
3	60	18,5475	-41,453	0,31	6,615	
3	14	6,0580	-7,942	0,43	2,508	
4	70	0,0000	-70,000	0,00	11,832	
4	56	0,0000	-56,000	0,00	10,583	-0,6336
4	18	0,0000	-18,000	0,00	6,000	
4	20	0,0000	-20,000	0,00	6,325	
4	7	6,9664	-0,034	1,00	0,013	
4	9	9,0000	0,000	1,00	0,000	
5	461	461,0000	0,000	1,00	0,000	
5	195	0,0000	-195,000	0,00	19,748	0,8897
5	149	149,0000	0,000	1,00	0,000	
5	189	188,9986	-0,001	1,00	0,000	
5	32	0,0000	-32,000	0,00	8,000	
5	22	22,0000	0,000	1,00	0,000	
5	50	0,0000	-50,000	0,00	10,000	
5	17	0,0000	-17,000	0,00	5,831	
5	10	0,0000	-10,000	0,00	4,472	
5	5	0,0000	-5,000	0,00	3,162	
5	18	0,0000	-18,000	0,00	6,000	
5	32	33,2797	1,280	1,04	0,224	
5	10	0,0000	-10,000	0,00	4,472	
5	12	0,0000	-12,000	0,00	4,899	
5	55	0,0000	-55,000	0,00	10,488	
5	9	0,0000	-9,000	0,00	4,243	
5	15	0,0000	-15,000	0,00	5,477	
5	37	0,0000	-37,000	0,00	8,602	
5	24	0,0000	-24,000	0,00	6,928	
5	17	0,0000	-17,000	0,00	5,831	
5	25	0,0000	-25,000	0,00	7,071	
5	116	0,0000	-116,000	0,00	15,232	
5	90	0,0000	-90,000	0,00	13,416	

5	75	0,0000	-75,000	0,00	12,247	1,0000 -0,1994
5	10	10,0000	0,000	1,00	0,000	
5	27	27,0000	0,000	1,00	0,000	
5	35	38,8218	3,822	1,11	0,629	
5	21	0,0000	-21,000	0,00	6,481	
5	53	53,0000	0,000	1,00	0,000	
5	7	7,0000	0,000	1,00	0,000	
5	37	0,0000	-37,000	0,00	8,602	
5	85	85,0000	0,000	1,00	0,000	
6	66	59,7112	-6,289	0,90	0,793	
6	41	0,0000	-41,000	0,00	9,055	
9	0	82,0092	82,009			
9	0	0,0000	0,000			
9	8	0,0000	-8,000	0	4,000	
9	7	6,9930	-0,007	1,00	0,003	
9	68	67,9725	-0,028	1,00	0,003	
9	131	0,0000	-131,000	0	16,186	
9	93	0,0000	-93,000	0	13,638	
9	94	0,0000	-94,000	0	13,711	
9	18	0,0000	-18,000	0	6,000	
17	0	1,1980	1,198			
17	0	0,0000	0,000			

Tabela 8.3 – Fluxos observados e modelados para o período PM.

Screenline	Caminhões Observados	Caminhões Modelados	Diferença	Relação	GEH	Coefficiente de Correlação
1	9	9,0368	0,037	1,00	0,012	0,907157
1	5	5,1279	0,128	1,03	0,057	
1	28	27,9982	-0,002	1,00	0,000	
1	29	29,0000	0,000	1,00	0,000	
1	9	9,1122	0,112	1,01	0,037	
1	7	6,9990	-0,001	1,00	0,000	
1	3	3,1472	0,147	1,05	0,084	
1	12	12,0072	0,007	1,00	0,002	
1	18	18,0820	0,082	1,00	0,019	
1	6	6,4709	0,471	1,08	0,189	
1	18	0,0000	-18,000	0,00	6,000	
1	1	0,0000	-1,000	0,00	1,414	
1	24	23,9999	0,000	1,00	0,000	
1	13	12,9998	0,000	1,00	0,000	
1	19	18,9996	0,000	1,00	0,000	
1	26	0,0000	-26,000	0,00	7,211	

1	33	32,8969	-0,103	1,00	0,018	
1	18	17,9994	-0,001	1,00	0,000	
1	1	0,0000	-1,000	0,00	1,414	
1	29	28,9998	0,000	1,00	0,000	
1	95	94,9729	-0,027	1,00	0,003	
1	45	31,0379	-13,962	0,69	2,264	
1	5	4,0275	-0,973	0,81	0,458	
1	27	34,9131	7,913	1,29	1,422	
1	27	0,0000	-27,000	0,00	7,348	
1	12	11,9805	-0,020	1,00	0,006	
1	14	0,0000	-14,000	0,00	5,292	
1	34	33,8082	-0,192	0,99	0,033	
1	1	0,9851	-0,015	0,99	0,015	
1	5	4,9814	-0,019	1,00	0,008	
1	23	23,0000	0,000	1,00	0,000	
1	17	16,9723	-0,028	1,00	0,007	
1	18	17,5884	-0,412	0,98	0,098	
2	6	6,0002	0,000	1,00	0,000	
2	5	5,0015	0,002	1,00	0,001	0,9777254
2	17	26,6191	9,619	1,57	2,060	
2	9	16,3506	7,351	1,82	2,065	
2	0	0,0000	0,000			
3	25	0,0000	-25,000	0,00	7,071	
3	17	0,0000	-17,000	0,00	5,831	0,5985293
3	83	0,0000	-83,000	0,00	12,884	
3	52	0,0000	-52,000	0,00	10,198	
3	13	0,0000	-13,000	0,00	5,099	
3	57	0,0000	-57,000	0,00	10,677	
3	9	0,0000	-9,000	0,00	4,243	
3	91	15,6164	-75,384	0,17	10,325	
4	99	0,0000	-99,000	0,00	14,071	
4	49	0,0000	-49,000	0,00	9,899	-0,544312
4	17	0,0000	-17,000	0,00	5,831	
4	21	0,0000	-21,000	0,00	6,481	
4	10	9,9871	-0,013	1,00	0,004	
4	8	8,0000	0,000	1,00	0,000	
5	570	570,0000	0,000	1,00	0,000	
5	129	0,0000	-129,000	0,00	16,062	0,9531937
5	177	177,0000	0,000	1,00	0,000	
5	259	258,9892	-0,011	1,00	0,001	
5	22	0,0000	-22,000	0,00	6,633	
5	32	32,0000	0,000	1,00	0,000	
5	46	0,0000	-46,000	0,00	9,592	
5	29	0,0000	-29,000	0,00	7,616	
5	12	0,0000	-12,000	0,00	4,899	

5	7	0,0000	-7,000	0,00	3,742	
5	12	0,0000	-12,000	0,00	4,899	
5	33	33,1215	0,121	1,00	0,021	
5	18	0,0000	-18,000	0,00	6,000	
5	16	0,0000	-16,000	0,00	5,657	
5	25	0,0000	-25,000	0,00	7,071	
5	13	0,0000	-13,000	0,00	5,099	
5	20	0,0000	-20,000	0,00	6,325	
5	19	0,0000	-19,000	0,00	6,164	
5	32	0,0000	-32,000	0,00	8,000	
5	8	0,0000	-8,000	0,00	4,000	
5	26	0,0000	-26,000	0,00	7,211	
5	48	0,0000	-48,000	0,00	9,798	
5	109	0,0000	-109,000	0,00	14,765	
5	87	0,0000	-87,000	0,00	13,191	
5	13	13,0000	0,000	1,00	0,000	
5	26	26,0000	0,000	1,00	0,000	
5	47	48,1539	1,154	1,02	0,167	
5	42	0,0000	-42,000	0,00	9,165	
5	31	31,0000	0,000	1,00	0,000	
5	36	36,0000	0,000	1,00	0,000	
5	86	0,0000	-86,000	0,00	13,115	
5	51	51,0000	0,000	1,00	0,000	
6	64	63,2581	-0,742	0,99	0,093	1
6	35	0,0000	-35,000	0,00	8,367	
9	0	61,5549	61,555			0,3832499
9	34	0,0000	-34,000	0	8,246	
9	9	0,0000	-9,000	0	4,243	
9	47	46,9899	-0,010	1,00	0,001	
9	118	117,9893	-0,011	1,00	0,001	
9	79	0,0000	-79,000	0	12,570	
9	84	0,0000	-84,000	0	12,961	
9	54	0,0000	-54,000	0	10,392	
9	14	0,0000	-14,000	0	5,292	
17	2	0,6528	-1,347	0,3264	1,170	1
17	1	0,0000	-1,000	0	1,414	